

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Železobetonová konstrukce s lokálně podepřenou deskou

Reinforced concrete structure with a flat slab

Student:

Bc. Jana Františka Lukašáková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lucie Mynarzová, Ph.D.

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jana Františka Lukašáková**

Studijní program: N0732A260003 Stavební inženýrství - Konstrukce staveb

Téma: **Železobetonová konstrukce s lokálně podepřenou deskou**
Reinforced concrete structure with a flat slab

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci této práce bude vypracována statická analýza a navrženo konstrukční řešení vícepodlažního železobetonového objektu s lokálně podepřenou deskou. Vnitřní síly budou vyšetřeny pomocí vhodného softwaru a ověřeny přibližnými metodami. Dále bude diplomová práce zahrnovat výpočet zatížení, návrh a posouzení vybraných prvků objektu a výkresovou dokumentaci řešených prvků železobetonové konstrukce.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 1992-1-1 ed. 2 (731201) A Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1, Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011

PROCHÁZKA, Jaroslav. Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knižnice. ISBN 978-80-87438-03-9

ZICH, Miloš a Zdeněk BAŽANT. Plošné betonové konstrukce, nádrže a zásobníky. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-693-5.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lucie Mynarzová, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2020

Datum odevzdání: 27.11.2020

prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít.
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo jednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Poděkování

Na úvod bych ráda poděkovala své vedoucí práce Ing. Lucii Mynarzové, Ph. D. za její pedagogické vedení, rady a samozřejmě za vstřícnost a ochotu při tvorbě této diplomové práce.

Dále bych ráda poděkovala mé rodině, která pro mě byla oporou a podporou při tvorbě této práce a samozřejmě při celém mém studiu.

A další díky patří také mým kamarádkám, které byly pro mě obrovskou podporou a pohonem v této práci. Vždy mě povzbuzovali a donutili pracovat dál a nevzdávat se. Bez těchto všech lidí by tato práce nikdy nevznikla.

Anotace

LUKAŠÁKOVÁ, Bc. Jana Františka.: *Železobetonová konstrukce s lokálně podepřenou deskou*: Diplomová práce.

Univerzita: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí 2020.

Vedoucí práce: Ing. Lucie Mynarzová, Ph.D.

Hlavním úkolem diplomové práce je návrh a posudek hlavních částí pětipatrové administrativní budovy. Jedná se o železobetonovou skeletovou konstrukci s lokálně podepřenou deskou. Celá práce vychází z mé bakalářské práce, kterou jsem vypracovala na katedře architektury v loňském roce. Jednalo se o návrh administrativní budovy z hlediska pravidel architektury a také o provedení projektové dokumentace pro provádění stavby objektu.

Původní práce byla pozměněna a vymodelována v softwaru SCIA Engineer. Dále byly porovnány výsledky softwaru s ručním výpočtem. Byla navržena a posouzena nosná výztuž stropních desek a sloupů dle mezního stavu únosnosti a použitelnosti podle platných norem.

Klíčová slova: administrativní budova, vícepodlažní budova, železobetonová skeletová konstrukce, lokálně podepřená deska

Annotation

LUKAŠÁKOVÁ, Bc. Jana Františka.: *Reinforced concrete structure with a flat slab*: Diploma thesis.

University: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Construction 2020.

Thesis head: Ing. Lucie Mynarzová, Ph.D.

The main task of the diploma thesis is a design and the assessment of the parts of a five-storey office building. It is a reinforced concrete skeletal structure with a locally supported slab. The whole work is based on my bachelor's thesis, which I did at the Department of Architecture last year. It was a design of an office building in term of architectural rules and it was also the implementation of project documentation for the construction of the building.

The original work was changed and modeled in SCIA Engineer software. Further, the results of the software were compared with a manual calculation. The load-bearing reinforcement of the ceiling slabs and the columns was designed and assessed according to the ultimate limit state and also according according to the valid standards.

Key words: office building, multi-storey building, reinforced concrete, skeletal structure, locally supported slab

Obsah

Seznam použitého značení	12
1. Úvod.....	15
2. Konstrukční řešení	16
2.1 Výpočet schodiště	16
3. Rozbor zatížení.....	18
3.1 Stálá zatížení	18
3.1.1 Vodorovné zatížení	18
3.1.2 Svislé zatížení	21
3.2 Proměnné zatížení	24
3.2.1 Užité zatížení.....	24
3.2.2 Zatížení sněhem	24
3.2.2.1 Výpočet tvarových součinitelů pro střechu ve směru x.....	26
3.2.2.2 Výpočet tvarových součinitelů pro střechu ve směru y.....	27
3.2.3 Zatížení větrem	28
3.2.3.1 Rychlost a tlak větru	28
4. Výpočet	34
4.1 3D model	34
4.1.1 Popis výpočtu.....	34
4.1.2 Zatížení ve 3D modelu	34
4.1.2.1 Stálé zatížení	35
4.1.2.2 Proměnné zatížení – užité	36
4.1.2.3 Proměnné zatížení – sníh	37
4.1.2.4 Proměnné zatížení – vítr	37
4.2 Ruční výpočet	38
4.2.1 Lokálně podepřená deska – metoda součtových momentů	38
4.2.1.1 Výpočet ohybových momentů ve směru x	40

4.2.1.2 Výpočet ohybových momentů ve směru y	42
4.2.2 Porovnání ručního výpočtu s výsledky modelu v programu SCIA Engineer	43
4.3 Výsledky vnitřních sil	45
4.3.1 Stropní desky	45
4.3.1.1 Stropní deska nad 1. NP	45
4.3.1.2 Stropní deska nad 2. NP	46
4.3.1.3 Stropní deska nad 3. NP	46
4.3.1.4 Stropní deska nad 4. NP	47
4.3.1.5 Stropní deska nad 5. NP	48
4.3.2 Sloupy.....	48
4.3.2.1 Výslednice normálových sil jednotlivých řad sloupů	49
4.3.2.2 Výslednice momentů M_y jednotlivých řad sloupů	51
4.3.2.3 Výslednice momentů M_z jednotlivých řad sloupů	52
5. Návrh a posouzení na MSÚ	56
5.1 Základní informace	56
5.1.1 Charakteristika materiálu.....	56
5.1.2 Krytí výztuže	57
5.1.3 Požadovaná plocha výztuže.....	58
5.1.4 Posudek výztuže stropní desky	59
5.1.5 Posudek pro výztuž sloupu.....	60
5.1.6 Posouzení limitní štíhlosti	62
5.1.7 Konstrukční zásady	63
5.1.7.1 Omezení množství hlavní výztuže	63
5.1.7.2 Maximální osová vzdálenost hlavní výztuže	64
5.1.7.3 Minimální světlá vzdálenost prutů	64
5.1.7.4 Minimální kotevní délka.....	65
5.1.7.5 Kotevní délka	65

5.1.7.6 Minimální kotevní délka	65
5.2 Posouzení stropní desky	66
5.2.1 Posouzení dolního povrchu desky – kladné momenty	67
5.2.1.1 Posouzení kladného momentu ve směru x.....	67
5.2.1.2 Posouzení kladného momentu ve směru y.....	70
5.2.2 Posouzení horního povrchu desky – záporné momenty.....	73
5.2.2.1 Posouzení záporného momentu ve směru x.....	73
5.2.2.2 Posouzení záporného momentu ve směru y.....	76
5.3 Posouzení sloupu.....	80
5.3.1 Vstupní údaje	80
5.3.2 Krytí výztuže	80
5.3.3 Základní údaje pro výpočet	80
5.3.4 Návrh.....	81
5.3.5 Výpočet jednotlivých bodů interakčního diagramu	82
5.3.6 Interakční diagram	84
5.3.7 Posouzení výztuže sloupu.....	84
5.3.7.1 Posouzení průřezu z 1. ZS	85
5.3.7.2 Posouzení průřezu z 2. ZS	86
5.3.9 Konstrukční zásady	88
5.3.8 Posouzení sloupu na protlačení.....	89
6. Návrh a posouzení na MSP	95
6.1 Mezní stav omezení napětí	95
6.2 Mezní stav trhlin	96
6.3 Mezní stav přetvoření.....	96
6.4 Posouzení stropní desky	97
6.4.1 Mezní stav omezení napětí	97
6.4.2 Mezní stav přetvoření.....	98

7. Závěr	99
8. Seznamy	100
8.1 Seznam obrázků	100
8.2 Seznam tabulek	102
8.3 Seznam použité literatury a zdrojů.....	103
8.4 Seznam příloh	105

Seznam použitého značení

Latinská písmena

TL	tloušťka materiálu	$[\text{mm}^2]$
g_k	charakteristické zatížení od skladby	$[\text{kN/m}^2]$
q_k	proměnné charakteristické zatížení	$[\text{kN/m}^2]$
s_k	charakteristický součinitel zatížení sněhem na zemi	$[\text{kN/m}^2]$
$c_{pe,10}$	součinitel tlaku a sil pro velké zatěžovací plochy	$[-]$
v_b	základní rychlost větru	$[\text{m/s}]$
w_k	výsledný tlak větru	$[\text{kN/m}^2]$
f_{ck}	charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku	$[\text{MPa}]$
f_{cd}	návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku	$[\text{MPa}]$
f_{ctm}	střední hodnota pevnosti betonu v tahu	$[\text{MPa}]$
f_{yk}	charakteristická pevnost oceli na mezi kluzu	$[\text{MPa}]$
f_{yd}	návrhová pevnost oceli na mezi kluzu	$[\text{MPa}]$
M_x^+	ohybový kladný moment ve směru x	$[\text{kNm}]$
M_x^-	ohybový záporný moment ve směru x	$[\text{kNm}]$
$b_{sl,x}$	šířka sloupového pásu ve směru x	$[\text{m}]$
$b_{stř,y}$	šířka středového pásu ve směru x	$[\text{m}]$
M_y^+	ohybový kladný moment ve směru y	$[\text{kNm}]$
M_y^-	ohybový záporný moment ve směru y	$[\text{kNm}]$
$b_{sl,y}$	šířka sloupového pásu ve směru y	$[\text{m}]$
$b_{stř,y}$	šířka středového pásu ve směru y	$[\text{m}]$
N	normálová síla	$[\text{kN}]$

c_{nom}	nominální krycí vrstva výztuže	[mm]
c_{min}	minimální krycí vrstva výztuže	[mm]
A_s	plocha výztuže	[m ²]
F_s	síla na mezi kluzu	[kN]
F_c	síla na mezi porušení	[kN]
M_{Rd}	moment na mezi únosnosti	[kNm]
N_{Rd}	únosnost průřezu v tlaku	[kN]
s_{sw}	vzdálenost prutů smykové výztuže	[mm]
A	průřezová plocha v účinném průřezu	[m ²]
$A_{s,min}$	minimální plocha výztuže	[mm ²]
$A_{s,max}$	maximální plocha výztuže	[mm ²]
d_{eff}	účinná výška desky	[mm]
A_{sw}	plocha navržené smykové výztuže	[mm ²]
E	modul pružnosti	[MPa]
I	moment setrvačnosti	[m ⁴]
$f_{ctk\ 0,05}$	dolní kvantil pevnosti betonu v tahu	[MPa]
f_{ywd}	návrhová pevnost oceli od třmínků a smykové výztuže	[MPa]
$V_{Rd,c}$	únosnost ve smyku prvku bez smykové výztuže	[kN]

Řecká písmena

μ	tvarový součinitel střechy	[-]
\varnothing	průměr výztuže	[mm]
η	součinitel plnosti obrazce napětí v betonu	[-]
ε_{yd}	přetvoření oceli na mezi kluzu	[‰]

γ_G	součinitel pro stálé zatížení	[-]
γ_Q	součinitel pro proměnné zatížení	[-]
γ_c	součinitel spolehlivosti betonu	[-]
γ_s	součinitel spolehlivosti oceli	[-]
ρ_l	součinitel vyztužení	[-]
ρ	objemová hmotnost	[kg/m ³]
γ	plošná hmotnost	[kg/m ²]
σ_{cp}	normálové napětí betonu v kritickém průřezu	[MPa]

1. Úvod



Obrázek 1: Původní návrh multifunkčního prostoru

Tato práce vychází z mé bakalářské práce. V bakalářské práci jsem řešila projekt stavby z hlediska architektury, kde bylo potřeba vyřešit objekt dle pravidel a zásad architektury. Předmětem bakalářské práce bylo také vytvoření projektové dokumentace. Nyní byla tato práce převzata a použita pro moji diplomovou práci. V diplomové práci jsem použila návrh a vytvořila statický posudek pro hlavní nosné části konstrukce.

Administrativní budova je součástí několika multifunkčních budov. Nachází se na rohu pozemku, kde se protíná silnice I. třídy I/56 vedoucí z Opavy do Ostravy s ulicí Českobratrskou. Jednotlivá podlaží jsou spojena pomocí dvou schodišť a dvou výtahů. V prvním nadzemním podlaží se nachází recepce, která je u hlavního vchodu do budovy a také administrativní prostory, které jsou ve všech dalších nadzemních podlažích. Kancelářské prostory jsou vytvořeny formou „open space“. Součástí konceptu je v každém patře přístupné zázemí pro zaměstnance. Celý objekt je bezbariérově přístupný, v každém patře se nachází dvě toalety s požadovanou velikostí a jednoduchým přístupem pro osoby s tělesným postižením.



Obrázek 2: 3D pohled na budovu

2. Konstrukční řešení

Konstrukčním řešením budovy je skeletový systém pětipatrové budovy ze železobetonu třídy C30/37 a betonářské oceli třídy B500B. Konstrukční systém se skládá z kruhových železobetonových nosných sloupů o poloměru 400 mm a výšky 3,2 m a železobetonových stropních desek o tloušťce 250 mm.

Obvodové stěny budovy jsou tvořeny systémem sloupů a výplňovým nenosným zdivem Porotherm a oken různých rozměrů. V objektu se vyskytují nosné ztužující stěny, které se nachází kolem schodišť a také kolem výtahových šachet. Obvodové stěny, i vnitřní příčky jsou z pórobetonových tvárnic o různých tloušťkách. Stropní konstrukce je doplněna podhledem ze sádkkartonu, ve kterém se nachází vzduchotechnika.

Schodiště propojuje první nadzemního podlaží až páté nadzemní podlaží. Opět je použita konstrukce z monolitického železobetonu, jako u zbytku konstrukce. Schodiště tvoří dvě ramena a mezipodesta.

Je zde použita plochá střecha se spádem 5%. Střešní konstrukce je tvořena železobetonovou deskou o tloušťce 250 mm. Odvod dešťové vody je vyřešen pomocí 4 svodů dovnitř dispozice.

Na základy budovy je použit železobetonový monolitický rošt s podkladní roznášecí betonovou vrstvou v nezamrzné hloubce o průřezu 1 000 x 1 000 mm.

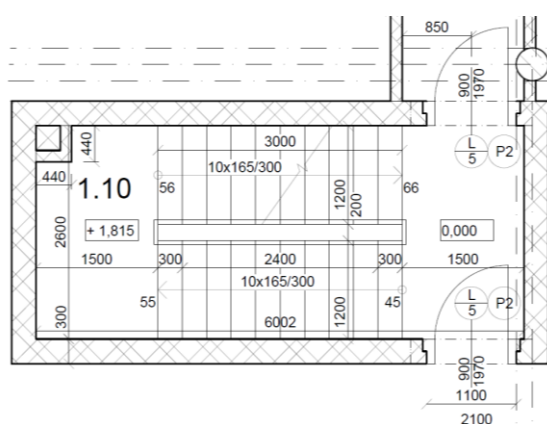
2.1 Výpočet schodiště

Výpočet dvojramenného schodiště:

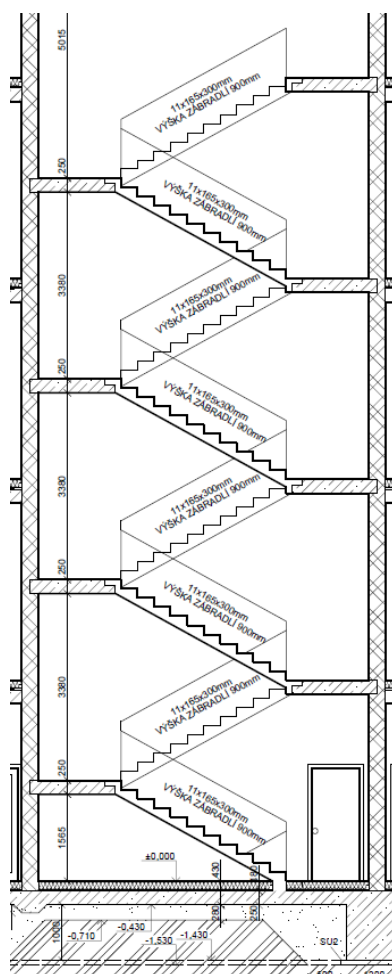
- Konstrukční výška: 3 630 mm
- Počet schodů: $3\,630 : 170 = 21,35$
- Návrh: 22 stupňů – 11 stupňů v jednom rameni
- Výška stupně: $h = 3\,630 : 22 = 165\text{ mm}$
- Šířka stupně: $2 \cdot h + b = 630\text{ mm}$
$$2 \cdot 165 + b = 630\text{ mm} \quad \rightarrow \quad b = 300\text{ mm}$$
- Délka schodišťového ramene: $10 \cdot b = 10 \cdot 300 = 3\,000\text{ mm}$ (11 výšek a 10 šířek)
- Sklon schodiště: $\operatorname{tg} \alpha = h/b = 165/300$
$$\alpha = 29^\circ$$

Navržené hodnoty

- Šířka schodišťového ramene: 1 200 mm
- Celková šířka schodiště: $1\,200 \cdot 2 + 200 = 2\,600$ mm
- Šířka mezipodesty: 1 500 mm
- Celková délka ramene: $3\,000 + 1\,500 = 4\,500$ mm



Obrázek 3: Půdorys schodiště



Obrázek 4: Řez schodištěm

3. Rozbor zatížení

3.1 Stálá zatížení

Stálá zatížení jsou uvedena v charakteristických hodnotách a jsou vypočítána dle normy ČSN EN 1992-1-1 [1].

3.1.1 Vodorovné zatížení

Při následujících výpočtech se neuvažuje vlastní tíha nosné konstrukce.

Podlahy

Tabulka 1: Skladba podlahy v kancelářských prostorách na stropní desce

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	g _{k1} [kN/m ²]
Keramická dlažba do interiéru; $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$	–	2000	10	$2000 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,200
Lepicí tmel; $\gamma = 1500 \text{ kg/m}^3$	–	1500	6	$1500 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{-3}$	0,090
Ochranná hydroizolační hmota; $\gamma = 1,4 \text{ kg/m}^2$ na 1 mm	1,4	–	5	$1,4 \cdot 10^{-2}$	0,014
Penetrace; $\gamma = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,1	–	5	$0,1 \cdot 10^{-2}$	0,001
Roznášecí betonová mazanina; $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$	–	2000	53	$2000 \cdot 10^{-2} \cdot 53 \cdot 10^{-3}$	1,060
Separační folie DEKSEPAR; $\gamma = 0,16 \text{ kg/m}^2$	0,16	–	1	$0,16 \cdot 10^{-2}$	0,002
Tepelněizolační desky RIGIFLOOR 400; $\gamma = 13,5 \text{ kg/m}^3$	–	13,5	30	$13,5 \cdot 10^{-2} \cdot 30 \cdot 10^{-3}$	0,004
CELKEM			110		1,371

Tabulka 2: Skladba podlahy v komunikačních prostorách a v hygienickém zařízení na stropní desce

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	g _{k2} [kN/m ²]
Keramická dlažba do interiéru; $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$	–	2000	10	$2000 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,200
Lepicí tmel; $\gamma = 1500 \text{ kg/m}^3$	–	1500	6	$1500 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{-3}$	0,090
Izolační a lepicí stěrková hmota; $\gamma = 1,25 \text{ kg/m}^2$ na 1 mm	1,25	–	5	$1,25 \cdot 10^{-2}$	0,013

Penetrace; $\gamma = 0,1 \text{ kg/m}^2$	0,1	–	5	$0,1 \cdot 10^{-2}$	0,001
Roznášecí betonová mazanina; $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$	–	2000	53	$2000 \cdot 10^{-2} \cdot 53 \cdot 10^{-3}$	1,060
Separální folie DEKSEPAR; $\gamma = 0,16 \text{ kg/m}^2$	0,16	–	1	$0,16 \cdot 10^{-2}$	0,002
Tepelněizolační desky RIGIFLOOR 400; $\gamma = 13,5 \text{ kg/m}^3$	–	13,5	30	$13,5 \cdot 10^{-2} \cdot 30 \cdot 10^{-3}$	0,004
CELKEM			110		1,369

Schodiště

Tabulka 3: Skladba podlahy na schodišťové podestě

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	g_{k3} [kN/m ²]
Keramická dlažba do interiéru; $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$	–	2000	10	$2000 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,200
Lepicí tmel; $\gamma = 1500 \text{ kg/m}^3$	–	1500	6	$1500 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{-3}$	0,090
CELKEM			16		0,29

Do výpočtu uvažujeme pouze největší z těchto hodnot: 1,371 kN/m².

Tabulka 4: Výpočet hmotnosti schodišťového ramene

Základní údaje o schodišti			
Délka jednoho schodišťového ramene	L_1	3 000	[mm]
Sklon schodišťového ramene	α	29	[°]
Šikmá délka jednoho schodišťového ramene	L_2	3 766	[mm]
Šířka stupně	b	300	[mm]
Výška stupně	h	165	[mm]
Počet stupňů v jednom schodišťovém rameni	n	11	[ks]
Tíha betonu	γ	25	[kN/m ²]

Hmotnost schodišťových stupňů na rameni:

$$g = 0,5 \cdot b \cdot h \cdot n \cdot \gamma = 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,165 \cdot 11 \cdot 25 = 6,80625 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet celkového zatížení na schodišťový stupeň:

$$g_{k4} = g_{k3} + g/L_2 = 0,29 + 6,80625/3,766 = 2,097 \text{ kN/m}^2 \quad (3.1)$$

Podhled

Tabulka 5: Skladba sádkartonového podhledu

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	g _{k4} [kN/m ²]
Lepicí tmel; $\gamma = 3 \text{ kg/m}^2$	3	–	5	$3 \cdot 10^{-2}$	0,030
Tepelněizolační desky RIGIFLOOR 400; $\gamma = 13,5 \text{ kg/m}^3$	–	13,5	30	$13,5 \cdot 10^{-2} \cdot 30 \cdot 10^{-3}$	0,004
SDK rošt	–				
Podhled sádkartonový; TL. 2x12,5 mm; $\gamma = 750 \text{ kg/m}^3$	–	750	25	$750 \cdot 10^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-3}$	0,188
Vápenná omítka; $\gamma = 1600 \text{ kg/m}^3$	–	1 600	10	$1\,600 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,160
CELKEM			70		0,382

Střecha

Tabulka 6: Skladba střechy

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	g _{k5} [kN/m ²]
Hydroizolační PVC-P fólie DEKPLAN 7; $\gamma = 1,85 \text{ kg/m}^2$	1,85	–	1,5	$1,85 \cdot 10^{-2}$	0,019
Ochranná geotextilie FILTEK 300; $\gamma = 0,33 \text{ kg/m}^2$	0,33	–	2,9	$0,33 \cdot 10^{-2}$	0,003
Tepelná izolace polystyren EPS 100; $\gamma = 23 \text{ kg/m}^3$	–	23	200	$23 \cdot 10^{-2} \cdot 200 \cdot 10^{-3}$	0,046
Parozábrana – asfaltový pás GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL; $\gamma = 4,5 \text{ kg/m}^2$	4,5	–	4	$4,5 \cdot 10^{-2}$	0,045
Asfaltová penetrační emulze DEKPRIMER; $\gamma = 0,4 \text{ kg/m}^2$	0,4	–	2	$0,4 \cdot 10^{-2}$	0,004
CELKEM			210,4		0,0117

3.1.2 Svislé zatížení

Stěny

Výška obvodových i vnitřních stěn je 3,2 m.

Tabulka 7: Skladba obvodové stěny z POROTHERMU.

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	G _{k1} [kN/m ²]
Vápenná omítka; $\gamma = 1\,600\text{ kg/m}^3$	–	1 600	10	$1\,600 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,160
POROTHERM 50 EKO+; $\gamma = 680\text{ kg/m}^3$	–	680	500	$680 \cdot 10^{-2} \cdot 500 \cdot 10^{-3}$	3,400
Nenasákavá hydroizolace; $\gamma = 1,6\text{ kg/m}^2$	1,6	–	1,5	$1,6 \cdot 10^{-2}$	0,016
Tepelná izolace EPS; $\gamma = 32\text{ kg/m}^3$	–	32	100	$32 \cdot 10^{-2} \cdot 100 \cdot 10^{-3}$	0,032
Vnější vápenocementová omítka; $\gamma = 2\,000\text{ kg/m}^3$	–	2 000	10	$2\,000 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,200
CELKEM			621,5		3,508

$$G_{k1} = 3,508 \cdot 3,2 = 11,226\text{ kN/m}$$

Tabulka 8: Skladba obvodové stěny ze skla

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	G _{k2} [kN/m ²]
Skleněné okna; $\gamma = 2\,400\text{ kg/m}^3$	–	2 400	30	$2\,400 \cdot 10^{-2} \cdot 30 \cdot 10^{-3}$	0,720
CELKEM			30		0,720

$$G_{k2} = 0,720 \cdot 3,2 = 2,304\text{ kN/m}$$

Tabulka 9: Skladba vnitřní stěny z POROTHERMU 30.

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	G _{k3} [kN/m ²]
Vápenná omítka; $\gamma = 1\,600\text{ kg/m}^3$	–	1 600	10	$1\,600 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,160
POROTHERM 30; $\gamma = 680\text{ kg/m}^3$	–	800	300	$800 \cdot 10^{-2} \cdot 500 \cdot 10^{-3}$	2,400
Vápenná omítka; $\gamma = 1\,600\text{ kg/m}^3$	–	1 600	10	$1\,600 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,160
CELKEM			320		2,720

$$G_{k3} = 2,720 \cdot 3,2 = 8,704\text{ kN/m}$$

Tabulka 10: Skladba vnitřní stěny z POROTHERMU 14.

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	G _{k4} [kN/m ²]
Vápenná omítka; $\gamma = 1\,600\text{ kg/m}^3$	–	1 600	10	$1\,600 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,160
POROTHERM 14; $\gamma = 680\text{ kg/m}^3$	–	850	140	$850 \cdot 10^{-2} \cdot 140 \cdot 10^{-3}$	1,190
Vápenná omítka; $\gamma = 1\,600\text{ kg/m}^3$	–	1 600	10	$1\,600 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,160
CELKEM			160		1,510

$$G_{k4} = 1,510 \cdot 3,2 = 4,832\text{ kN/m}$$

Tabulka 11: Skladba betonová střešní atiky.

Skladba	[kg/m ²]	[kg/m ³]	TL. [mm]	Výpočet zatížení	G _{k5} [kN/m ²]
2x nenasákavá hydroizolace; $\gamma = 1,6 \text{ kg/m}^2$	1,6	–	3	$2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2}$	0,032
Tepelná izolace EPS; $\gamma = 32 \text{ kg/m}^3$	–	32	100	$32 \cdot 10^{-2} \cdot 100 \cdot 10^{-3}$	0,032
Nenasákavá hydroizolace; $\gamma = 1,6 \text{ kg/m}^2$	1,6	–	1,5	$1,6 \cdot 10^{-2}$	0,016
Betonová atika 1 000 x 200 mm; γ $= 25 \text{ kN/m}^3$	–	2 500	440	$2\,500 \cdot 10^{-2} \cdot 440 \cdot 10^{-3}$	11,000
Nenasákavá hydroizolace; $\gamma = 1,6 \text{ kg/m}^2$	1,6	–	1,5	$1,6 \cdot 10^{-2}$	0,016
Tepelná izolace EPS; $\gamma = 32 \text{ kg/m}^3$	–	32	100	$32 \cdot 10^{-2} \cdot 100 \cdot 10^{-3}$	0,032
Vnější vápenocementová omítka; γ $= 2\,000 \text{ kg/m}^3$	–	2 000	10	$2\,000 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,200
CELKEM			656		11,328

Střešní atika je z betonové konstrukce o výšce 340 mm a šířce 680 mm. Atika je z vnitřní i vnější strany odizolovaná.

$$G_{k5} = 11,328 \cdot 0,34 = 3,852 \text{ kN/m}$$

3.2 Proměnné zatížení

3.2.1 Užiténé zatížení

Užitná zatížení jsou taktéž uvedena v charakteristických hodnotách a výpočty jsou provedeny dle normy ČSN EN 1992-1-1 [1].

Tabulka 12: Užitné zatížení pro kancelářské prostory

Kategorie	Stanovené použití	Kategorie zatěžovacích ploch	q_{k1} [kN/m ²]
B	Kancelářské plochy	–	2,5

Tabulka 13: Užitná zatížení pro komunikační prostory

Kategorie	Stanovené použití	Kategorie zatěžovacích ploch	q_{k1} [kN/m ²]
C	Plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí	C3: plochy bez překážek pro pohyb osob	5,0

Tabulka 14: Užitné zatížení pro schodiště

Kategorie	Stanovené použití	Kategorie zatěžovacích ploch	q_{k1} [kN/m ²]
A	Obytné plochy a plochy pro domácí činnosti	Schodiště	3,0

Tabulka 15: Užitné zatížení pro střechu

Kategorie	Stanovené použití	Kategorie zatěžovacích ploch	q_{k1} [kN/m ²]
H	Střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav	–	0,75

3.2.2 Zatížení sněhem

Výpočet zatížení je proveden dle normy ČSN EN 1992-1-3 [2]. Na budově je navržena plochá střecha, která je po obvodě zakončena atikou. Spád střechy je 5%. Odtok dešťové vody je vyřešen pomocí 4 svodů dovnitř dispozice.

Umístění objektu:

- Lokalita: Ostrava
- Typ krajiny: Chráněná
- Skladba střechy: Tepelně izolovaná
- Maximální sklon střechy: $\alpha_1 = 10,5\% = 6^\circ$
- Sněhová oblast: II

Charakteristická hodnota zatížení sněhem:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3.2)$$

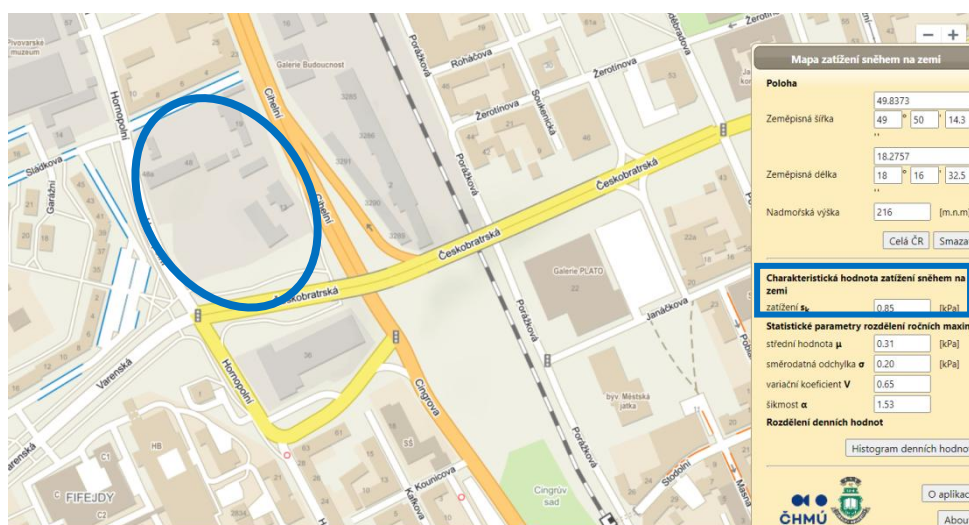
μ_i ... tvarový součinitel zatížení sněhem

C_e ... součinitel expozice

C_t ... tepelný součinitel

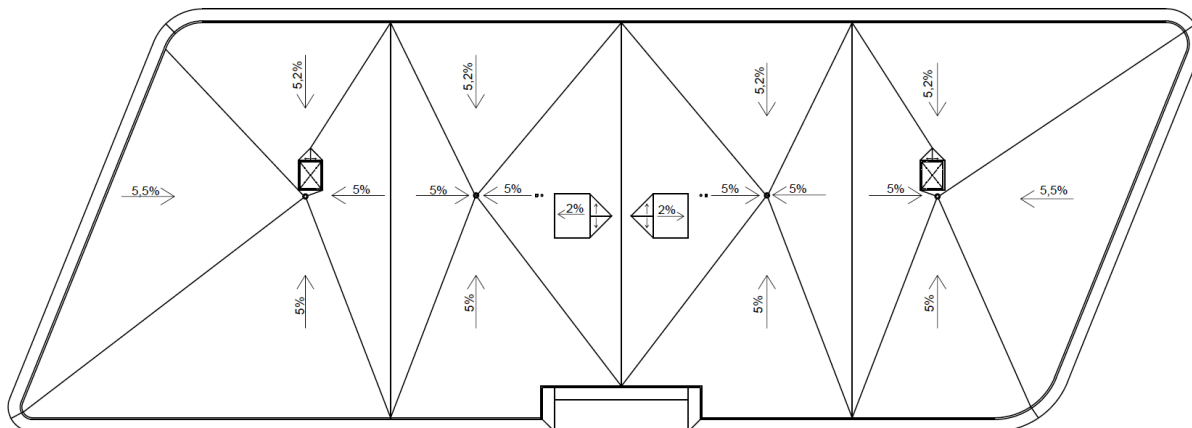
s_k ... charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

Součinitel	Typ	Příklad	Hodnota
C_e	Chráněná	Plochy, kde je stavba obklopena vysokými stavbami	1,2
C_t	S tepelnou propustností do $1 \text{ W/m}^2\text{K}$	Střecha je tepelně izolovaná.	1,0
s_k	Sněhová oblast	II	0,85



Obrázek 5: Hodnota zatížení sněhem na zemi [8]

3.2.2.1 Výpočet tvarových součinitelů pro střechu ve směru x



Obrázek 6: Schéma půdorysu střechy se střešními svody dešťové vody.

Pro plochou střechu platí pro uspořádání nenavátým i navátým sněhem stejné μ_1 .

$$\mu_1 = 0,8 \quad \text{pro } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$$

Návěje na výstupky a překážky

Jedná se o překážky v podobě výlezů na střechu a zastřešení výtahových šachet. Překážky na střeše vrhají stín, kde v důsledku toho dochází k hromadění sněhu.

Tvarové součinitele zatížení sněhem μ_1 a μ_2 a také délka návějí l_s se stanoví dle:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 0,8 \\ \mu_2 &= \gamma \cdot h / s_k, \end{aligned} \quad (3.3)$$

kdy hodnota je omezena $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$

γ je objemová tíha sněhu rovná 2 kN/m^3

$$l_s = 2h, \quad (3.4)$$

doporučené rozmezí $5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$

Výlez na střechu:

- Výška výlezu: $h = 500 \text{ mm}$
- Tvarový součinitel: $\mu_1 = 0,8$

$$\mu_2 = 2 \cdot 0,5 / 0,85 = 1,176$$

- Délka návějí: $l_s = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ m}$
 $5 \text{ m} \leq l \leq 15 \text{ m}$

Střecha výtahové šachty:

- Výška střechy: $h = 1 \text{ 150 mm}$
- Tvarový součinitel: $\mu_1 = 0,8$
 $\mu_2 = 2 \cdot 1,15 / 0,85 = 2,706$, kdy $0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$
 $\mu_2 = 2,0$
- Délka návějí: $l_s = 2 \cdot 1,15 = 2,3 \text{ m}$
 $5 \text{ m} \leq 2,3 \leq 15 \text{ m}$

Z důvodu, že ani při jednom výpočtu návěje není splněno rozmezí, tak se s návějemi ve výpočtu neuvažuje.

3.2.2.2 Výpočet tvarových součinitelů pro střechu ve směru y

Opět máme stejné pravidlo, kdy pro plochou střechu platí pro uspořádání nenavátým i navátým sněhem stejné μ_1 .

$$\mu_1 = 0,8 \quad \text{pro } 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$$

Návěje na výstupky a překážky

Jsou totožné jako ve směru x.

Charakteristická hodnota zatížení sněhem

Výsledky zatížení sněhem získáme pomocí dosazení tvarových součinitelů a ostatních součinitelů do vzorce: $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$.

Směr x

Pro plochou střechu: $s_I = 0,8 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 0,816 \text{ kNm}^2$

Směr y

Pro plochou střechu: $s_I = 0,8 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 0,816 \text{ kNm}^2$

3.2.3 Zatížení větrem

Umístění objektu:

- Lokalita: Ostrava
- Větrová oblast: II
- Kategorie terénu: III

3.2.3.1 Rychlost a tlak větru

Základní rychlost větru

Výchozí základní rychlost větru, dle větrové oblasti II: $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Základní rychlost větru se vypočítá dle vzorce: $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$ (3.5)

kde c_{dir} ... součinitel směru větru (doporučená hodnota 1,0)

c_{season} ... součinitel ročního období (doporučená hodnota 1,0)

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Výpočet referenční výšky

Popis	h [m]	b [m]	d [m]	Podmínka $h \leq b$	$z_e = h$ [m]
Referenční výška h (směr x)	19,09	59	24	$19,09 \leq 59$	19,09
Referenční výška h (směr y)	19,09	24	59	$19,09 \leq 24$	19,09

Drsnost terénu

Pro drsnost terénu platí vztah: $c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0)$ pro $z_{min} \leq z \leq z_{max}$ (3.6)

kde k_r ... součinitel terénu

z ... referenční výška

z_0 ... parametr drsnosti terénu

Parametry z_0 a výška z_{min} závisí na kategorii terénu, kterou máme III. m^2

Parametr drsnosti terénu: $z_0 = 0,3 \text{ m}$

Minimální výška: $z_{min} = 5 \text{ m}$

Maximální výška: $z_{max} = 200 \text{ m}$

Podmínka, která musí být splněna: $z_{min} \leq z = z_e \leq z_{max}$

$$5 \text{ m} \leq 19,09 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$$

Pro součinitel terénu platí vztah: $k_r = 0,19 \cdot (z_0 / z_{0,II})^{0,07}$ (3.7)

kde z_0 ... parametr drsnosti terénu

$z_{0,II}$... parametr drsnosti terénu, kde $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$

$$k_r = 0,19 \cdot (0,3 / 0,05)^{0,07} = 0,21539$$

Výpočet drsnosti terénu: $c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0)$ (3.8)

$$c_r(z) = 0,21539 \cdot \ln(19,09/0,3) = 0,89454$$

Střední rychlost větru

Vypočítá se dle vzorce: $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$ (3.9)

kde $c_r(z)$... součinitel drsnosti terénu

$c_o(z)$... součinitel ortografie (doporučená hodnota 1,0)

$$v_m(z) = 0,89454 \cdot 1 \cdot 25 = 22,364$$

Turbulence větru

Intenzita turbulence se vypočítá ze vztahu:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}, \text{ při splnění podmínky } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (3.10)$$

kde k_I ... součinitel turbulence (doporučena hodnota 1,0)

$c_o(z)$... součinitel ortografie (doporučená hodnota 1,0)

z_0 ... parametr drsnosti terénu

Podmínka je splněna: $z_{min} \leq z = z_e \leq z_{max}$

$$5 \text{ m} \leq 19,09 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$$

Výpočet turbulence: $I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{19,09}{0,3}\right)} = 0,241$

Maximální dynamický tlak

Vypočítá se ze vztahu: $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$ (3.11)

kde ρ ... měrná hmotnost vzduchu, která závisí na nadmořské výšce, teplotě a tlaku, který je v oblasti očekáván při silné vichřici (doporučena hodnota $1,25 \text{ kg/m}^3$)

Výpočet: $q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,241] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 22,364^2 = 839,4 \text{ N/m}^2 = 0,8394 \text{ kN/m}^2$

Součinitelé vnějšího tlaku

Střešní plocha vystavená působení větru je větší než 10 m^2 . Z tohoto důvodu je dále ve výpočtu uvažován součinitel $c_{pe,10}$. Vítr byl do modelu MKP zadán jako generátor 3D větru. Po zadání do programu SCIA Engineer byl použit zjednodušený výpočet. Při tomto výpočtu se nepočítá se zkosenými stěnami budovy, ale počítá se s pravoúhlým tvarem budovy. Tomuto také odpovídá následující ruční výpočet. Ve skutečnosti by bylo potřeba vítr přepočítat do sklonu, který tato budova skutečně má, avšak pro účely této diplomové práce je následující zjednodušení přípustné.

Vítr	b [m]	d [m]	h [m]	e [m]
Ve směru x	67	24	19,09	38,18
Ve směru y	24	67	19,09	24

kde b ... kolmý rozměr na směr větru

h ... výška objektu

$$e = \min(b; 2h)$$

Hodnoty součinitelů vnějších tlaků $c_{pe,10}$ pro svislé stěny určíme ze vztahu: h/d

$$\text{Ve směru x: } h/d = 19,09/24 = 0,795$$

$$\text{Ve směru y: } h/d = 19,09/67 = 0,285$$

Pro svislé stěny:

Tabulka 16: Hodnoty $c_{pe,10}$

	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$ – ve směru x	- 1,2	-0,8	-0,5	0,77	-0,45
$c_{pe,10}$ – ve směru y	-1,2	-0,8	-0,5	0,70	-0,31

Pro hodnotu e musí být splněna podmínka $e < d$.

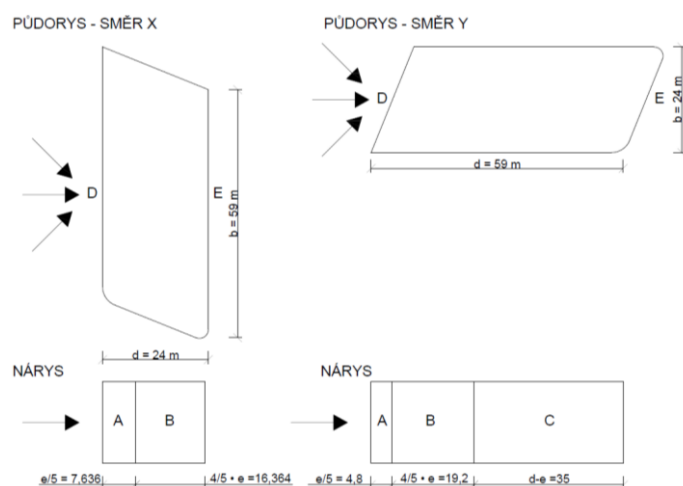
$$\text{Ve směru x: } e < d = 38,18 \text{ m} < 24 \text{ m}$$

$$\text{Ve směru y: } e < d = 24 \text{ m} < 67 \text{ m}$$

Pro směr x není splněna podmínka $e < d$, z tohoto důvodu je stěna rozdělena pouze na dvě části A a B. Pro směr y byla splněna podmínka $e < d$, tudíž byly použity tři části A, B a C.

Tabulka 17: Šířky oblastí pro svislé stěny.

Oblast	Vzorec	Výpočet	Šířka [m]
A_x	$e/5$	$38,18/5$	7,636
B_x	$4/5 \cdot e$	$4/5 \cdot 38,18$	16,364
A_y	$e/5$	$24/5$	4,8
B_y	$4/5 \cdot e$	$4/5 \cdot 24$	19,2
C_y	$d-e$	$59 - 24$	35



Obrázek 7: Označení ploch ve směru x a y pro svislé stěny.

Pro plochou střechu:

Ve výpočtu jsou dále uvažovány součinitele vnějších tlaků $c_{pe,10}$. Tato hodnota se pro plochou střechu s atikou určí ze vztahu: $h_p/h = 1,3/17,79 = 0,073$ (3.12)

kde h_p ... výška atiky

h ... výška objektu bez atiky

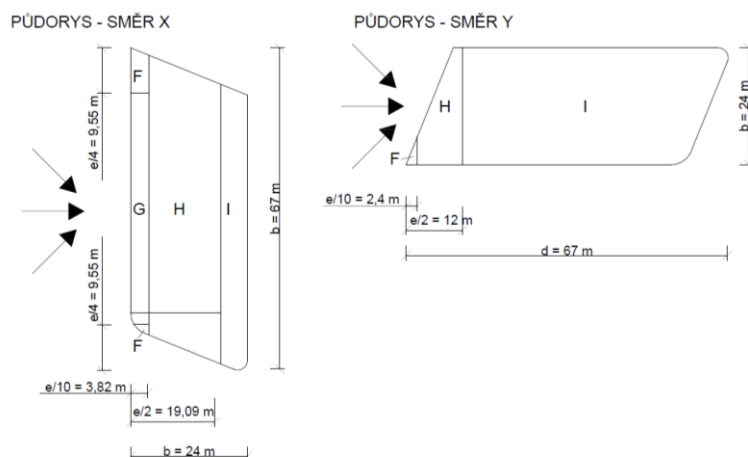
Tabulka 18: Hodnoty $c_{pe,10}$ pro střechu.

	F	G	H	I	I ⁺
$c_{pe,10}$	- 1,31	-0,85	-0,7	-0,2	0,2

Výpočet hodnoty e :

Ve směru x: $e = \min(b; 2h) = \min(67; 2 \cdot 17,79) = 35,58 \text{ m}$

Ve směru y: $e = \min(b; 2h) = \min(24; 2 \cdot 17,79) = 24 \text{ m}$



Obrázek 8: Označení ploch ve směru x a y pro střešní.

Výsledný tlak větru na stěny budovy a na plochou střešní konstrukci

Hodnota výsledného tlaku na konstrukce je dána vztahem:

$$w_k = q_p \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \quad (3.13)$$

kde q_p ... maximální dynamický tlak

c_{pe} ... součinitel vnějšího tlaku

c_{pi} ... součinitel vnitřního tlaku, $c_{pi} = -0,3; +0,2$

Tabulka 19: Tlak větru ve směru x na stěnu pro $c_{pi} = +0,2$.

Tlak větru	$c_{pe,10}$	Výpočet	Výsledek [kN/m ²]	
w_k^A	-1,2	$0,8394 \cdot (-1,2 - 0,2)$	-1,175	Vztlak
w_k^B	-0,8	$0,8394 \cdot (-0,8 - 0,2)$	-0,839	Vztlak
w_k^C	-0,5	$0,8394 \cdot (-0,5 - 0,2)$	-0,588	Vztlak
w_k^D	0,77	$0,8394 \cdot (0,77 - 0,2)$	0,478	Tlak
w_k^E	-0,45	$0,8394 \cdot (-0,45 - 0,2)$	-0,546	Vztlak

Tabulka 20: Tlak větru ve směru y na stěnu pro $c_{pi} = +0,2$.

Tlak větru	$c_{pe,10}$	Výpočet	Výsledek [kN/m ²]	
w_k^A	-1,2	$0,8394 \cdot (-1,2 - 0,2)$	-1,175	Vztlak
w_k^B	-0,8	$0,8394 \cdot (-0,8 - 0,2)$	-0,839	Vztlak
w_k^C	-0,5	$0,8394 \cdot (-0,5 - 0,2)$	-0,588	Vztlak
w_k^D	0,71	$0,8394 \cdot (0,71 - 0,2)$	0,428	Tlak
w_k^E	-0,32	$0,8394 \cdot (-0,32 - 0,2)$	-0,436	Vztlak

Tabulka 21: Tlak větru ve směru x na stěnu pro $c_{pi} = -0,3$.

Tlak větru	$c_{pe,10}$	Výpočet	Výsledek [kN/m ²]	
w_k^A	-1,2	$0,8394 \cdot (-1,2 + 0,3)$	-0,755	Vztlak
w_k^B	-0,8	$0,8394 \cdot (-0,8 + 0,3)$	-0,419	Vztlak
w_k^C	-0,5	$0,8394 \cdot (-0,5 + 0,3)$	-0,168	Vztlak
w_k^D	0,77	$0,8394 \cdot (0,77 + 0,3)$	0,898	Tlak
w_k^E	-0,45	$0,8394 \cdot (-0,45 + 0,3)$	-0,126	Vztlak

Tabulka 22: Tlak větru ve směru y na stěnu pro $c_{pi} = -0,3$.

Tlak větru	$c_{pe,10}$	Výpočet	Výsledek [kN/m ²]	
w_k^A	-1,2	$0,8394 \cdot (-1,2 + 0,3)$	-0,755	Vztlak
w_k^B	-0,8	$0,8394 \cdot (-0,8 + 0,3)$	-0,419	Vztlak
w_k^C	-0,5	$0,8394 \cdot (-0,5 + 0,3)$	-0,168	Vztlak
w_k^D	0,71	$0,8394 \cdot (0,71 + 0,3)$	0,848	Tlak
w_k^E	-0,32	$0,8394 \cdot (-0,32 + 0,3)$	-0,017	Vztlak

Tabulka 23: Tlak větru na střeche pro $c_{pi} = +0,2$.

Tlak větru	$c_{pe,10}$	Výpočet	Výsledek [kN/m ²]	
w_k^F	-1,31	$0,8394 \cdot (-1,31 - 0,2)$	-1,267	Vztlak
w_k^G	-0,85	$0,8394 \cdot (-0,85 - 0,2)$	-0,881	Vztlak
w_k^H	-0,7	$0,8394 \cdot (-0,7 - 0,2)$	-0,755	Vztlak
w_k^{I-}	-0,2	$0,8394 \cdot (-0,2 - 0,2)$	-0,336	Vztlak
w_k^{I+}	0,2	$0,8394 \cdot (0,2 - 0,2)$	0,00	–

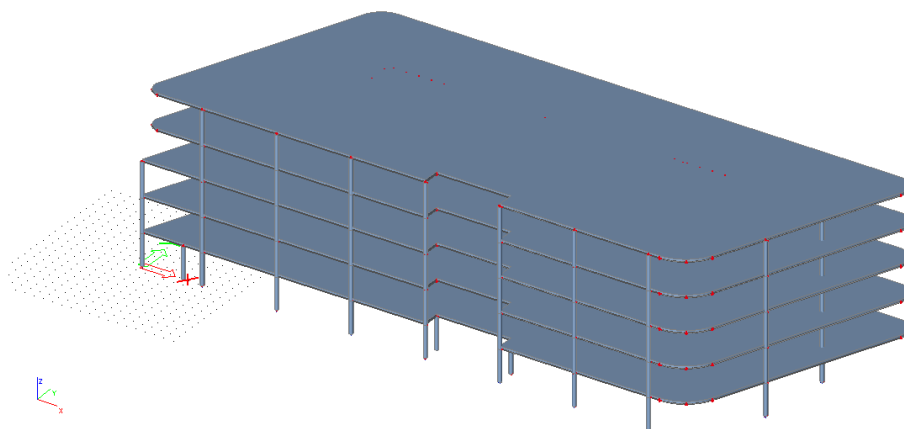
Tabulka 24: Tlak větru na střeche pro $c_{pi} = -0,3$.

Tlak větru	$c_{pe,10}$	Výpočet	Výsledek [kN/m ²]	
w_k^F	-1,31	$0,8394 \cdot (-1,31 + 0,3)$	-0,848	Vztlak
w_k^G	-0,85	$0,8394 \cdot (-0,85 + 0,3)$	-0,462	Vztlak
w_k^H	-0,7	$0,8394 \cdot (-0,7 + 0,3)$	-0,335	Vztlak
w_k^{I-}	-0,2	$0,8394 \cdot (-0,2 + 0,3)$	0,084	Tlak
w_k^{I+}	0,2	$0,8394 \cdot (0,2 + 0,3)$	0,419	Tlak

4. Výpočet

4.1 3D model

Výpočetní model byl vymodelován jako celek ve 3D modelování v programu SCIA Engineer z prutových sloupových prvků a dále z plošných prvků v obecné rovině x , y , z . Podpory ve sloupech jsou tuhé. Použit byl lineární výpočet.



Obrázek 9: 3D model v programu SCIA Engineer.

4.1.1 Popis výpočtu

Počet zatěžovacích stavů použitých ve výpočtovém modelu v programu SCIA Engineer je 23.

V modelu byly dále nastaveny kombinace. Pro mezní stav únosnosti byly nastaveny kombinace EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B. A pro mezní stav použitelnosti byly zvoleny kombinace EN-MSP charakteristická.

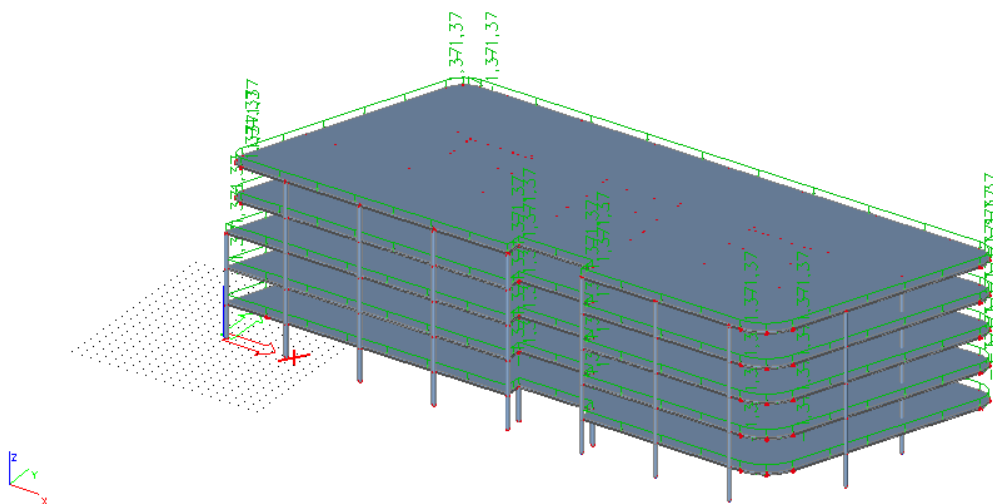
Nastavení sítě bylo provedeno automaticky programem SCIA Engineer. Průměrný počet dílků na prutu je 1 a velikost plošného prvku je 1 m. Také bylo přednastaveno propojení prvků (uzlů).

4.1.2 Zatížení ve 3D modelu

Ve 3D modelu bylo zatížení zadáno pomocí plošného zatížení v jednotkách kN/m^2 . Dále bylo zadáno liniové zatížení v místě nenosných příček. Detailnější postup zatížení je uveden níže v jednotlivých podkapitolách.

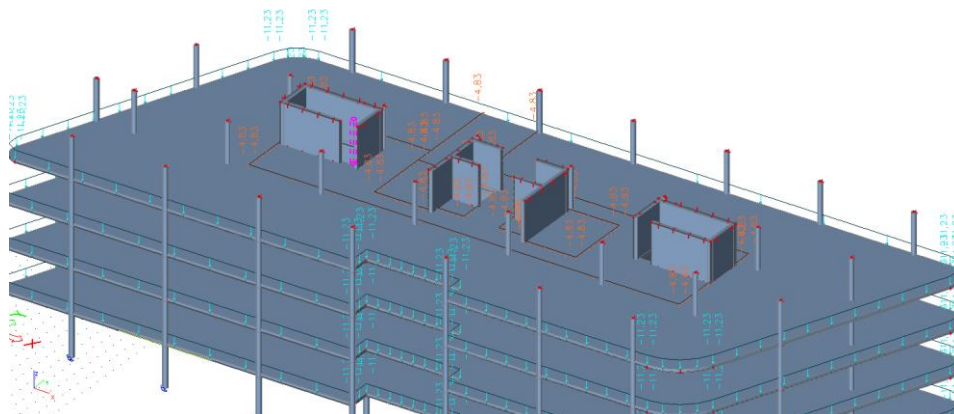
4.1.2.1 Stálé zatížení

První zatěžovací stav byla vlastní tíha konstrukce, která byla v programu vygenerována automaticky dle zvoleného typu materiálu a také dle rozměru. Další zatěžovací stav bylo stálé zatížení od skladby podlahy, kde byla pro zjednodušení výpočtu zvolena nejvyšší hodnota z jednotlivých vypočtených hodnot. Jednotlivé výpočty i s hodnotami jsou uvedeny v kapitole 3.1.



Obrázek 10: Zatížení od skladeb podlah.

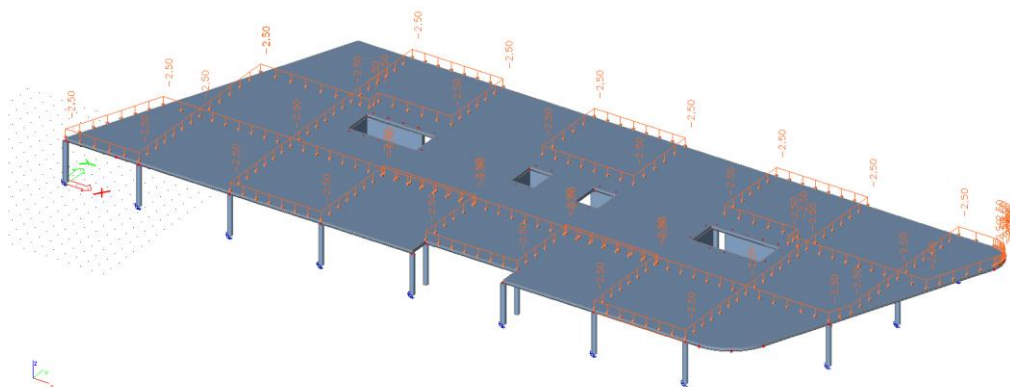
Svislé zatížení od příček bylo dále zadáno jako liniové zatížení v jednotkách kN/m v místech, kde se v půdorysu tyto příčky nachází. Spolu se zatížením od příček bylo zadáno i zatížení od obvodové výplňové konstrukce. Pro toto zatížení byla použita větší hodnota, zatížení zdiva pro zjednodušení výpočtu.



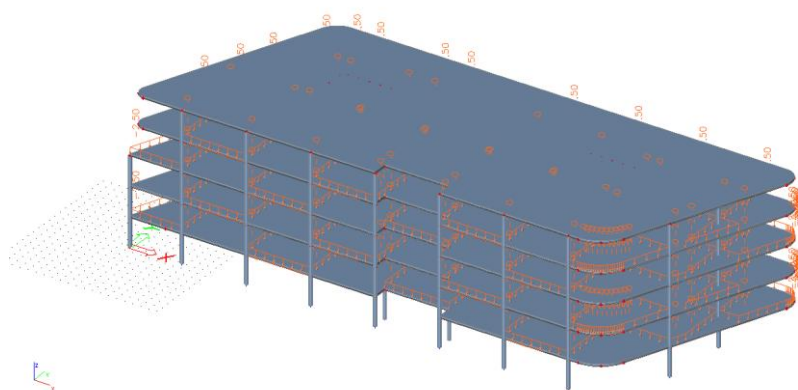
Obrázek 11: Poslední nadzemní podlaží se zatížením od příček.

4.1.2.2 Proměnné zatížení – užitné

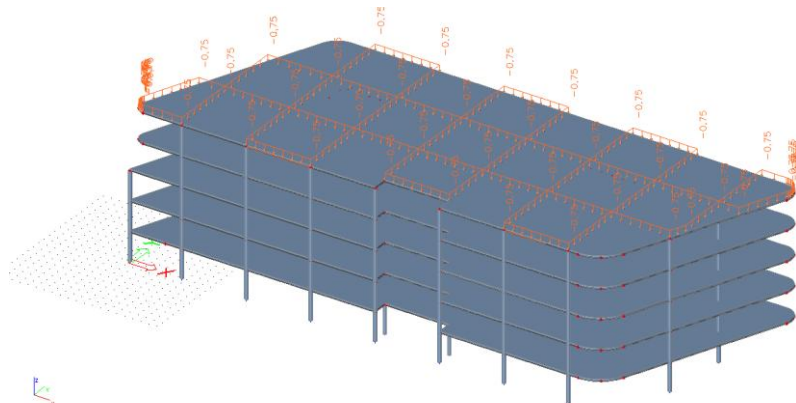
Výpočet užitného zatížení je již v kapitole 3.2.1. V modelu byly použity tyto výpočty a zadány podle skupiny zatížení a také dle kategorie. Zatížení bylo zadáno jako plošné v jednotkách kN/m^2 . Během zadávání tohoto zatížení byl do zatěžovacích stavů zvolen typ proměnný a bylo použito volné plošné zatížení, které bylo uspořádáno do šachovnice.



Obrázek 12: Užitné zatížení v kancelářských prostorách v druhém nadzemním podlaží.



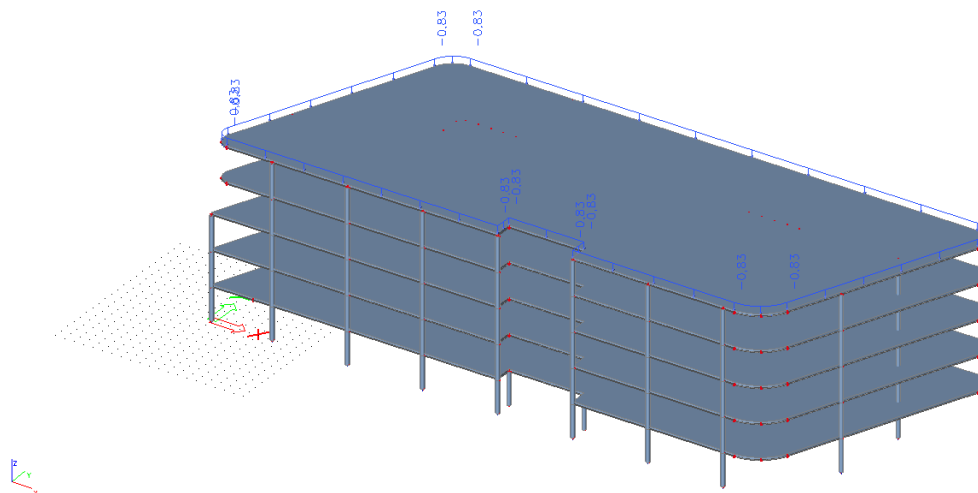
Obrázek 13: Pohled na šachovnicové zatížení všech pater.



Obrázek 14: Užitné zatížení na střeše.

4.1.2.3 Proměnné zatížení – sněh

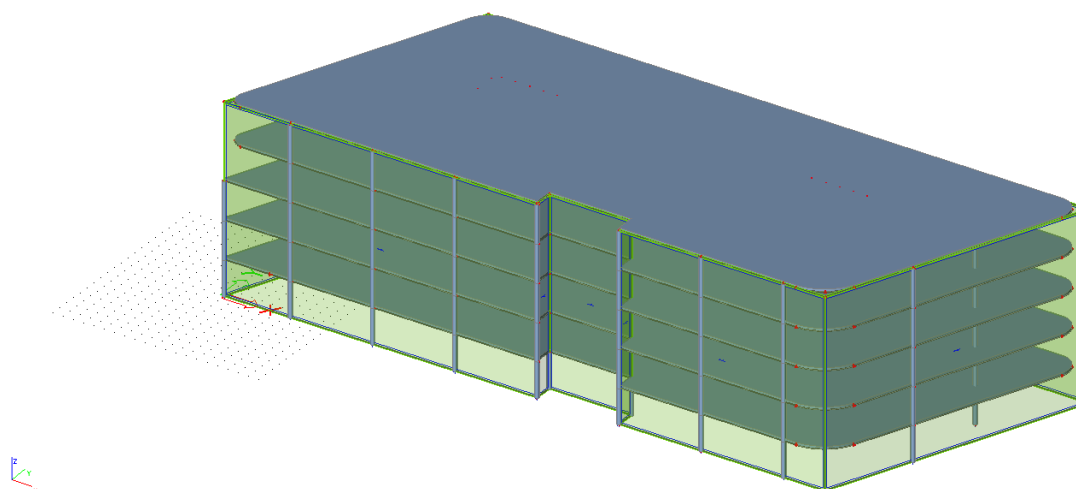
Sněh působí na celou střešní konstrukci, hodnoty jsou vypočteny v kapitole 3.2.2. Je zadáno jako plošné zatížení po celé střešní desce v jednotkách kN/m^2 .



Obrázek 15: Proměnné zatížení od sněhu.

4.1.2.4 Proměnné zatížení – vítr

Část výpočtu je provedena v kapitole 3.2.3. Celé zatížení větrem bylo v programu SCIA Engineer vygenerováno pomocí funkce 3D vítr. Vytvořila jsem zatěžovací panely, kterými jsem obalila celou posuzovanou budovu a v parametrech projektu jsem upravila vstupní hodnoty dle výše vypočítaných. Dále bylo vygenerováno 16 zatěžovacích stavů, jelikož budova není osově souměrná.



Obrázek 16: Zatěžovací panely větru.

4.2 Ruční výpočet

V prvním kroku ručního výpočtu vnitřních sil musíme spočítat, jak je deska podepřena, aby byla zvolena vhodná metoda výpočtu.

4.2.1 Lokálně podepřená deska – metoda součtových momentů

Základní parametry pro výpočet:

Rozměry:

$L_x = 8 \text{ m}$... délka jednoho pole ve směru x
$L_y = 8 \text{ m}$... délka jednoho pole ve směru y
$c_x = 400 \text{ mm}$... rozměr sloupu ve směru x
$c_y = 400 \text{ mm}$... rozměr sloupu ve směru y
$L_{nx} = 7,6 \text{ m}$... světlá délka jednoho pole ve směru x
$L_{ny} = 7,6 \text{ m}$... světlá délka jednoho pole ve směru y

Materiál:

Beton	C30/37
	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$... charakteristická pevnost betonu v tlaku
	$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$... návrhová pevnost betonu v tlaku
	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$... pevnost betonu v tahu
Výztuž:	B500B
	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$... charakteristická hodnota meze kluzu
	$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$... návrhová hodnota pevnosti oceli
	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$... pevnost betonu v tahu

Pro výpočet musí být splněna podmínka:

$$h_s \geq h_{s,lim}$$
$$h_{s,lim} = \frac{800+0,7 \cdot f_{yk}}{36+5 \cdot \varepsilon \cdot \eta} \cdot L_{n,max} \quad (4.1)$$

kde f_{yk} ... charakteristická hodnota meze kluzu

ε ... poměr delšího ke kratšímu světlému rozpětí deskového pole

$$\varepsilon = L_{n,x}/L_{n,y} = 7,6/7,6 = 1,0$$

η ... vychází z poměru tuhosti ztužujících trámů a desky, jelikož ztužující trámy nemáme, tak je $\eta = 0$

$L_{n,max}$... větší z obou světlostí deskového pole

Po dosazení hodnot: $h_{s,lim} = \frac{800+0,7 \cdot 500}{36+5 \cdot 1,0 \cdot 0} \cdot 7,6 = 242,778 \text{ mm}$

Podmínka je splněna: $250 \text{ mm} \geq 242,778 \text{ mm}$

Zatížení:

Stálé zatížení:

Pro zjednodušení kontrolního výpočtu bylo použito stálé zatížení od vlastní tíhy a největší vypočtena hodnota skladby podlahy.

Vlastní tíha: $g_{k1} = 0,25 \cdot 25 = 6,25 \text{ kN/m}^2$

Skladba podlahy: $g_{k2} = 1,371 \text{ kN/m}^2$

Celkem: $g_k = 7,621 \text{ kN/m}^2$

$$g_d = 7,621 \cdot 1,35 = 10,288 \text{ kN/m}^2$$

Užitné zatížení:

Pro zjednodušení výpočtu bylo použito užitné zatížení nejvyšší hodnoty. Bylo použito zatížení pro komunikační prostory 5 kN/m^2 .

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 5 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

4.2.1.1 Výpočet ohybových momentů ve směru x

Pro výpočet celkového součtového momentu ve směru x platí vztah:

$$M_{TOT,x} = \frac{1}{8} (g_d + q_d) \cdot b_x \cdot L_{n,x}^2 \quad (4.2)$$

kde g_d ... stálé zatížení, v tomto případě $g_d = 10,288 \text{ kN/m}^2$

q_d ... užité zatížení, v tomto případě $q_d = 7,5 \text{ kN/m}^2$

b_x ... šířka počítaného pásu ve směru x, b_x je roven šířce pásu, kdy se počítá s pásem od poloviny jednoho pole do poloviny druhého pole

$$b_x = 8 \text{ m}$$

$L_{n,x}$... světlé rozpětí pole ve směru x

Po dosazení do vzorce dostaneme výsledek:

$$M_{TOT,x} = \frac{1}{8} (10,288 + 7,5) \cdot 8 \cdot 7,6^2 = 1027,428 \text{ kNm}$$

Ohybový moment dále rozdělíme na kladnou a zápornou hodnotu, kdy kladný moment se nachází v poli a záporný moment se nachází nad podporou.

Rozdělení ohybových momentů:

$$M_x^+ = 0,35 \cdot M_{TOT,x}$$

$$M_x^- = 0,65 \cdot M_{TOT,x}$$

Po dosazení hodnot dostaneme výsledky:

$$M_x^+ = 0,35 \cdot 1027,428 = 359,5997 \text{ kNm}$$

$$M_x^- = 0,65 \cdot 1027,428 = 667,8281 \text{ kNm}$$

Dále se kladný a záporný moment rozdělí dle rozdělení pásu, kdy se šířka pásu rozdělí na středový a sloupový pás.

Rozdělení pásu:

$$\text{Šířka sloupového pásu ve směru x: } b_{sl,x} = L/2 = 8/2 = 4 \text{ m} \quad (4.3)$$

$$\text{Šířka středového pásu ve směru x: } b_{stř,x} = b_x - b_{sl,x} = 8 - 4 = 4 \text{ m} \quad (4.4)$$

Kladný moment nacházející se v poli, dále rozdělíme na sloupový a středový moment.

Rozdělení ohybových momentů:

$$M_{x,sl}^+ = 0,6 \cdot M_x^+ \quad (4.5)$$

$$M_{x,stř}^+ = 0,4 \cdot M_x^+ \quad (4.6)$$

Po dosazení hodnot dostaneme výsledky:

$$M_{x,sl}^+ = 0,6 \cdot 359,5997 = 215,7598 \text{ kNm}$$

$$M_{x,stř}^+ = 0,4 \cdot 359,5997 = 143,8399 \text{ kNm}$$

Na závěr pro posouzení musíme momenty přepočítat šířkou pásu:

$$m_{Ed,x,sl}^+ = \frac{M_{x,sl}^+}{b_{sl,x}} = \frac{215,7598}{4} = 53,94 \text{ kNm} \quad (4.7)$$

$$m_{Ed,x,stř}^+ = \frac{M_{x,stř}^+}{b_{stř,x}} = \frac{143,8399}{4} = 35,96 \text{ kNm} \quad (4.8)$$

Dále musíme rozdělit i záporný moment nacházející se nad podporou také na sloupový a středový moment.

Rozdělení ohybových momentů:

$$M_{x,sl}^- = 0,75 \cdot M_x^- \quad (4.9)$$

$$M_{x,stř}^- = 0,25 \cdot M_x^- \quad (4.10)$$

Po dosazení hodnot dostaneme výsledky:

$$M_{x,sl}^- = 0,75 \cdot 667,8281 = 500,871 \text{ kNm}$$

$$M_{x,stř}^- = 0,25 \cdot 667,8281 = 166,957 \text{ kNm}$$

Opět přepočítané tentokrát záporné momenty:

$$m_{Ed,x,sl}^- = \frac{M_{x,sl}^-}{b_{sl,x}} = \frac{500,871}{4} = 125,22 \text{ kNm} \quad (4.11)$$

$$m_{Ed,x,stř}^- = \frac{M_{x,stř}^-}{b_{stř,x}} = \frac{166,957}{4} = 41,74 \text{ kNm} \quad (4.12)$$

4.2.1.2 Výpočet ohybových momentů ve směru y

Pro výpočet ohybových momentů ve směru y platí stejná pravidla a stejný postup jako pro předchozí výpočet ohybových momentů ve směru x.

Po dosazení do vzorce pro výpočet celkového součtového momentu ve směru y dostaneme výsledek:

$$M_{TOT,y} = \frac{1}{8} (10,288 + 7,5) \cdot 8 \cdot 7,6^2 = 1027,428 \text{ kNm}$$

Po opětovném rozdělení ohybového momentu na kladnou a zápornou hodnotu.

$$M_y^+ = 0,35 \cdot M_{TOT,x} = 0,35 \cdot 1027,428 = 359,5997 \text{ kNm}$$

$$M_y^- = 0,65 \cdot M_{TOT,x} = 0,65 \cdot 1027,428 = 667,8281 \text{ kNm}$$

Opět rozdělíme pás na sloupový a středový.

$$\text{Šířka sloupového pásu ve směru y: } b_{sl,y} = L/2 = 8/2 = 4 \text{ m}$$

$$\text{Šířka středového pásu ve směru y: } b_{stř,y} = b_y - b_{sl,y} = 8 - 4 = 4 \text{ m}$$

Kladný moment po rozdělení na sloupový a středový.

$$M_{y,sl}^+ = 0,6 \cdot M_y^+ = 0,6 \cdot 359,5997 = 215,7598 \text{ kNm}$$

$$M_{y,stř}^+ = 0,4 \cdot M_y^+ = 0,4 \cdot 359,5997 = 143,8399 \text{ kNm}$$

Na závěr pro posouzení musíme momenty přepočítat šířkou pásu:

$$m_{Ed,y,sl}^+ = \frac{M_{y,sl}^+}{b_{sl,y}} = \frac{215,7598}{4} = 53,94 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř}^+ = \frac{M_{y,stř}^+}{b_{stř,y}} = \frac{143,8399}{4} = 35,96 \text{ kNm}$$

Opět rozdělíme i záporný moment na sloupový a středový.

$$M_{y,sl}^- = 0,75 \cdot M_y^- = 0,75 \cdot 667,8281 = 500,871 \text{ kNm}$$

$$M_{y,stř}^- = 0,25 \cdot M_y^- = 0,25 \cdot 667,8281 = 166,957 \text{ kNm}$$

Opět přepočítané tentokrát záporné momenty:

$$m_{Ed,y,sl}^{-} = \frac{M_{y,sl}^{-}}{b_{sl,y}} = \frac{500,871}{4} = 125,22 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř}^{-} = \frac{M_{y,stř}^{-}}{b_{stř,y}} = \frac{166,957}{4} = 41,74 \text{ kNm}$$

Pro následující posudek vybereme všechny přepočítané momenty, aby byla vhodně navržena výztuž na celé desce:

$$m_{Ed,x,sl}^{+} = 53,94 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř}^{+} = 35,96 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,sl}^{-} = 125,22 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř}^{-} = 41,74 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl}^{+} = 53,94 \text{ kNm}$$

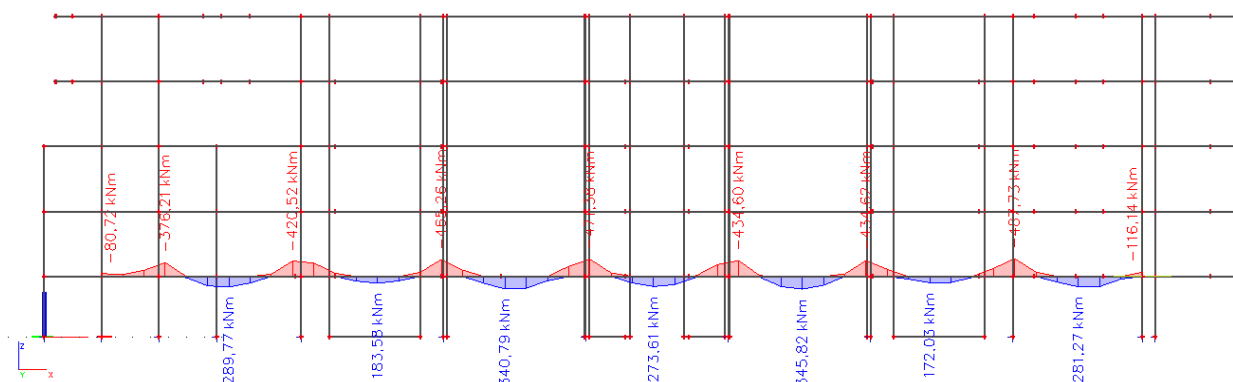
$$m_{Ed,y,stř}^{+} = 35,96 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl}^{-} = 125,22 \text{ kNm}$$

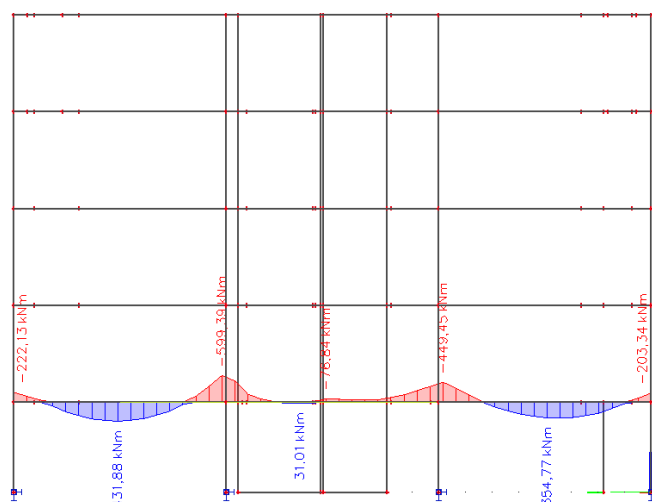
$$m_{Ed,y,stř}^{-} = 41,74 \text{ kNm}$$

4.2.2 Porovnání ručního výpočtu s výsledky modelu v programu SCIA Engineer

V modelu v programu SCIA Engineer byly použity všechny zatěžovací stavy dle výše popsaného zadávání zatížení do modelu v bodě 5.1. Výsledky byly vygenerovány na integračním páse, kdy byla automaticky také vygenerována vhodná kombinace zatížení.



Obrázek 17: Vykreslení momentů ve směru x.



Obrázek 18: Vykreslení momentů ve směru y.

Tabulka 25: Porovnání výsledků modelu z programu SCIA Engineer s ručním výpočtem.

Model ve SCIA Engineer		Ruční výpočet		Rozdíl	
M_x^+ [kNm]	345,82	M_x^+ [kNm]	359,5997	3,83	%
M_x^- [kNm]	-487,73	M_x^- [kNm]	- 667,8281	26,97	%
M_y^+ [kNm]	431,88	M_y^+ [kNm]	359,5997	16,74	%
M_y^- [kNm]	-599,39	M_y^- [kNm]	- 667,8281	10,25	%

Rozdíl výsledků je menší než 25%, až na hodnotu záporného momentu ve směru x, který se nachází nad podporou. Rozdíl je možné zanedbat. Rozdílná hodnota ručního výpočtu a výsledku modelu z programu SCIA Engineer je pravděpodobně způsobena nepřesností ručního výpočtu. Jedná se především o rozdílné zadání zatěžovacích stavů, kdy v modelu byly zohledněny všechny zatěžovací stavy. Dále byl zohledněn rozdíl v užitém zatížení dle jednotlivých kategorií a také bylo v modelu zohledněno stálé zatížení od příček. Rozdíl je také v zadání užitého zatížení, které bylo zadáno šachovnicově.

4.3 Výsledky vnitřních sil

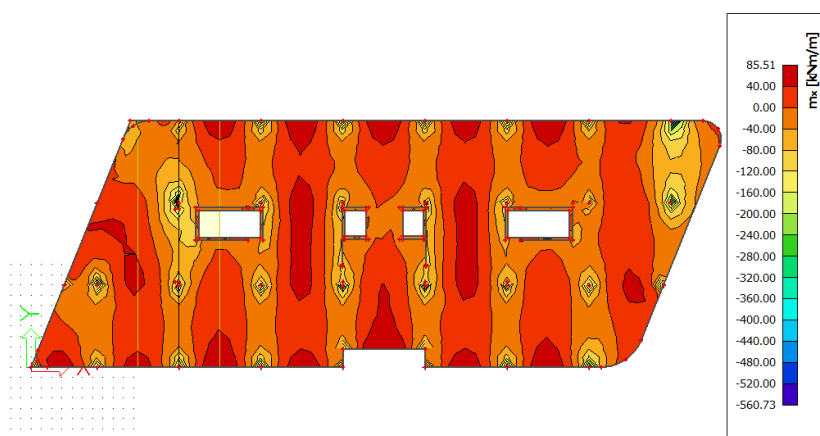
V následující kapitole jsou rozebrány a zobrazeny vnitřní síly z programu SCIA Engineer. Další kapitoly rozebírají vnitřní síly na jednotlivých nosných prvcích.

4.3.1 Stropní desky

Pro vykreslení vnitřních sil byly použity momenty na jednotlivých deskách ve směru osy x a ve směru osy y.

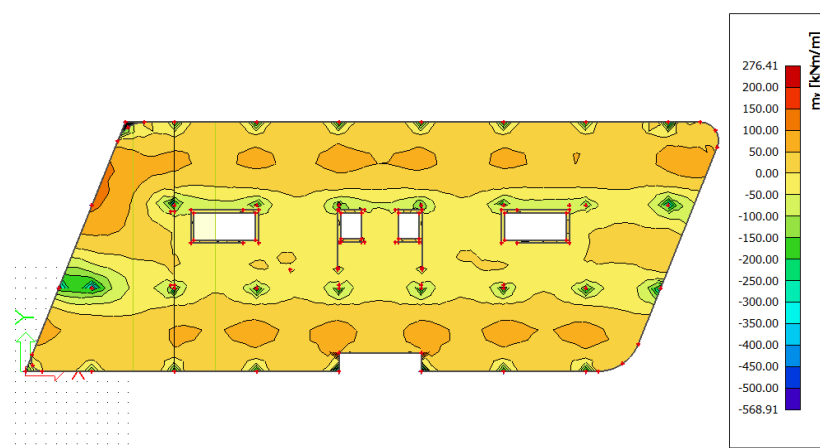
4.3.1.1 Stropní deska nad 1. NP

Momenty ve směru x



Obrázek 19: Deska nad 1. NP - momenty ve směru x.

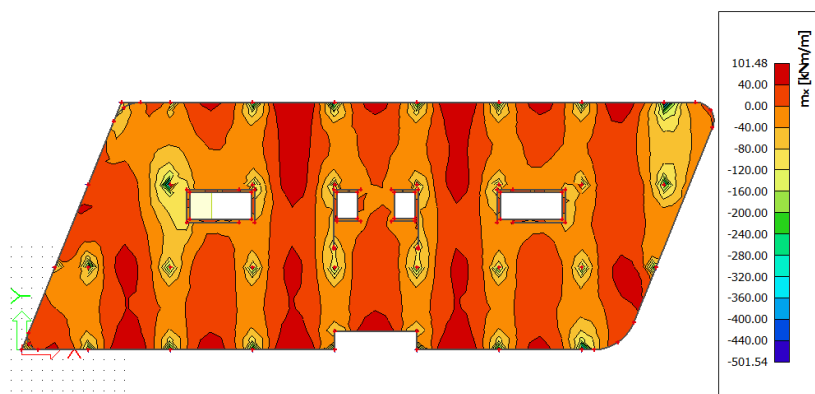
Momenty ve směru y



Obrázek 20: Deska nad 1. NP - momenty ve směru y.

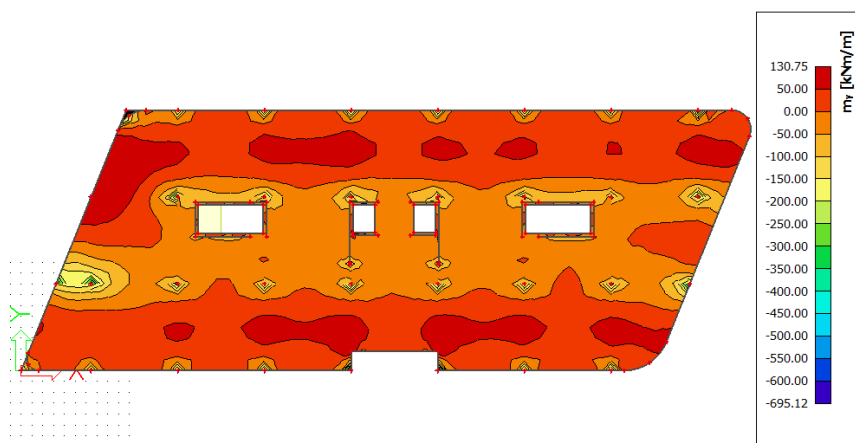
4.3.1.2 Stropní deska nad 2. NP

Momenty ve směru x



Obrázek 21: Deska nad 2. NP - momenty ve směru x.

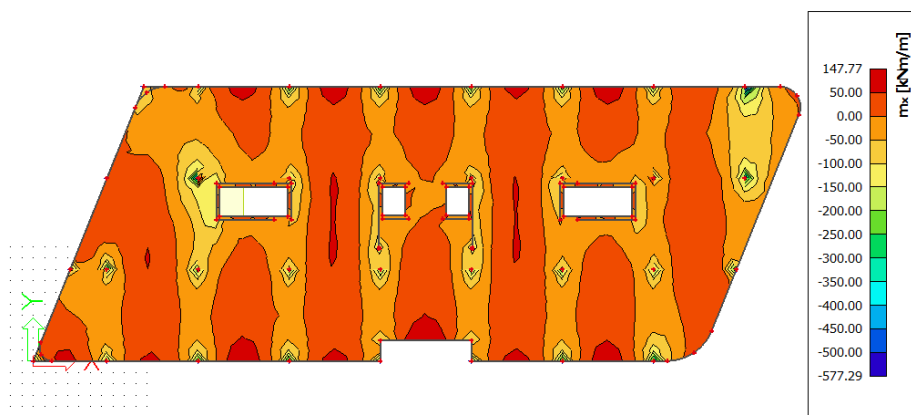
Momenty ve směru y



Obrázek 22: Deska nad 2. NP - momenty ve směru y.

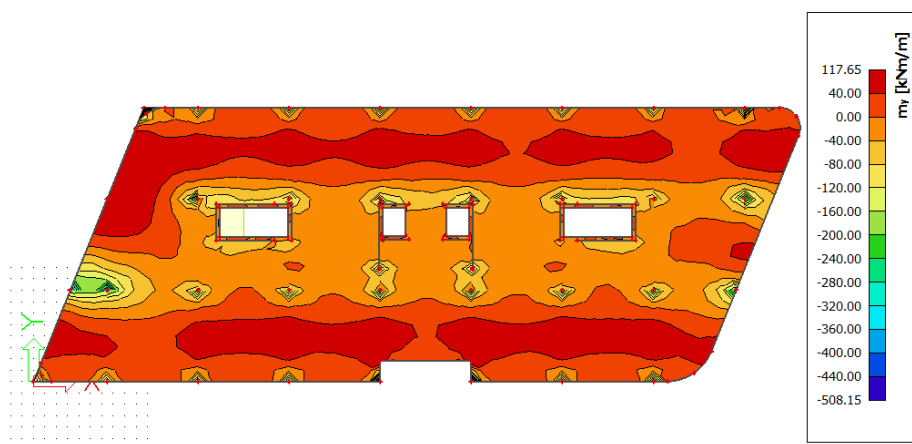
4.3.1.3 Stropní deska nad 3. NP

Momenty ve směru x



Obrázek 23: Deska nad 3. NP - momenty ve směru x.

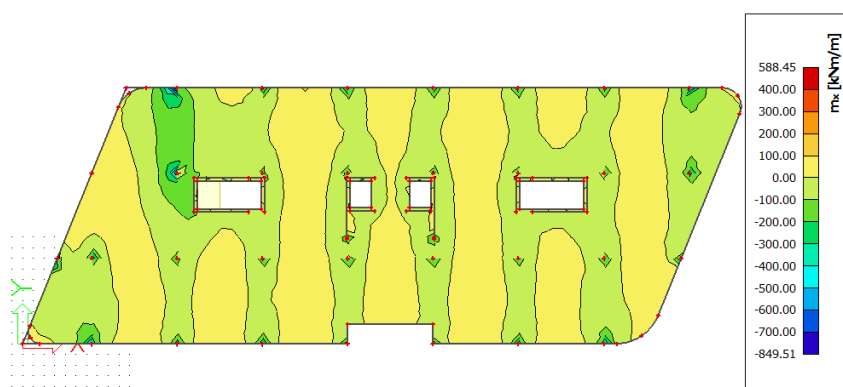
Momenty ve směru y



Obrázek 24: Deska nad 3. NP - momenty ve směru y.

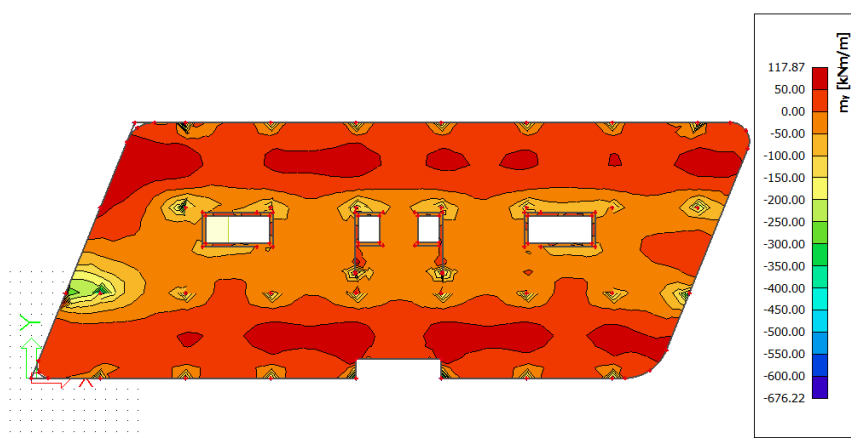
4.3.1.4 Stropní deska nad 4. NP

Momenty ve směru x



Obrázek 25: Deska nad 4. NP - momenty ve směru x.

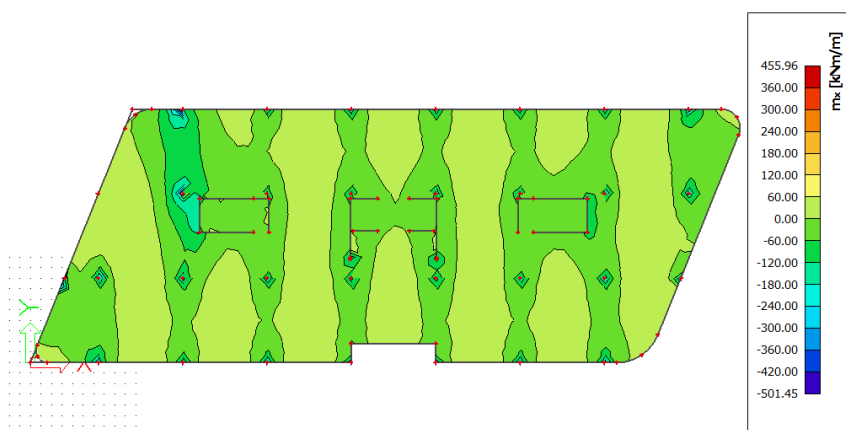
Momenty ve směru y



Obrázek 26: Deska nad 4. NP - momenty ve směru y.

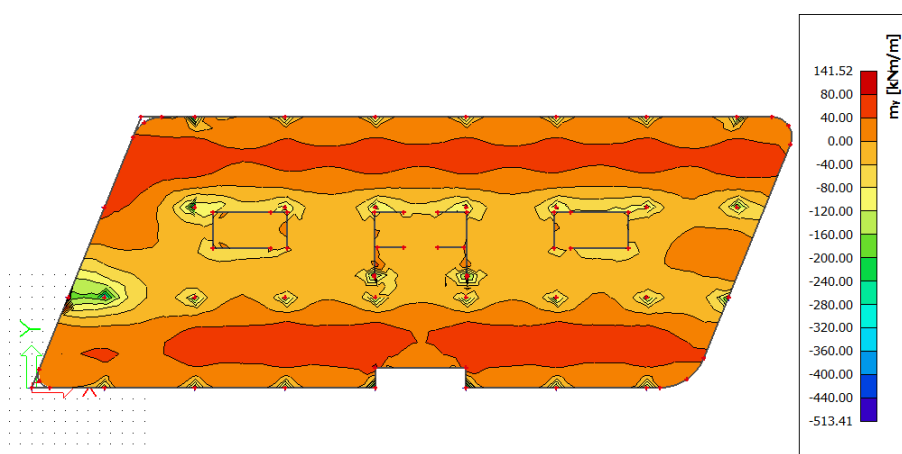
4.3.1.5 Stropní deska nad 5. NP

Momenty ve směru x



Obrázek 27: Deska nad 5. NP - momenty ve směru x.

Momenty ve směru y

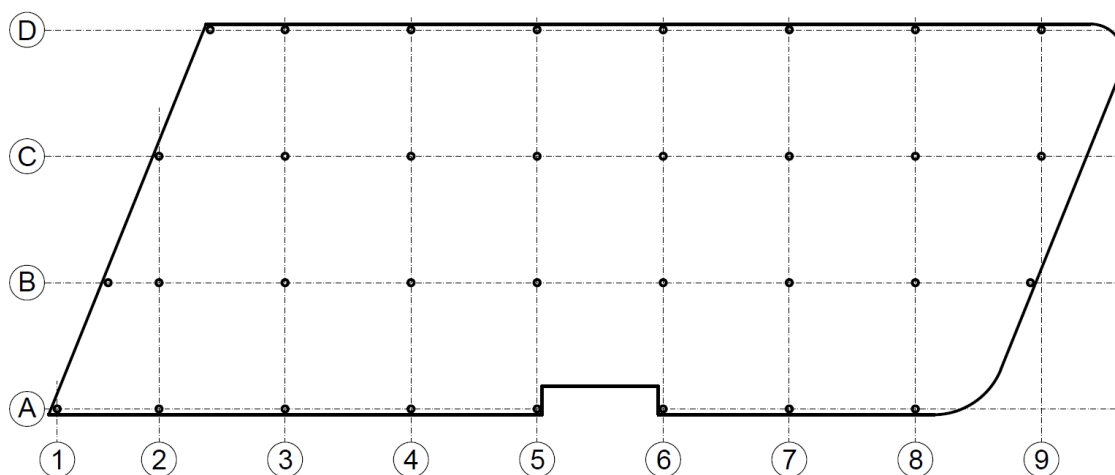


Obrázek 28: Deska nad 5.NP - momenty ve směru y.

4.3.2 Sloupy

Sloupy jsou v MKP modelu vytvořeny pomocí prostorového prvku „sloup“. Porovnány byly vnitřní síly, zejména normálová síla N a také ohybové momenty M , které byly dále použity při posouzení výztuže.

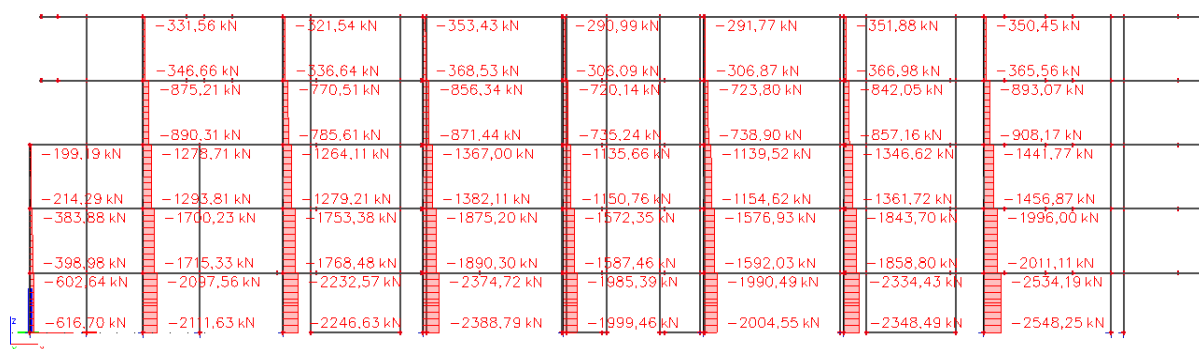
Schéma pro jednotlivé řady a sloupce sloupů



Obrázek 29: Schéma jednotlivých řad a sloupů sloupů.

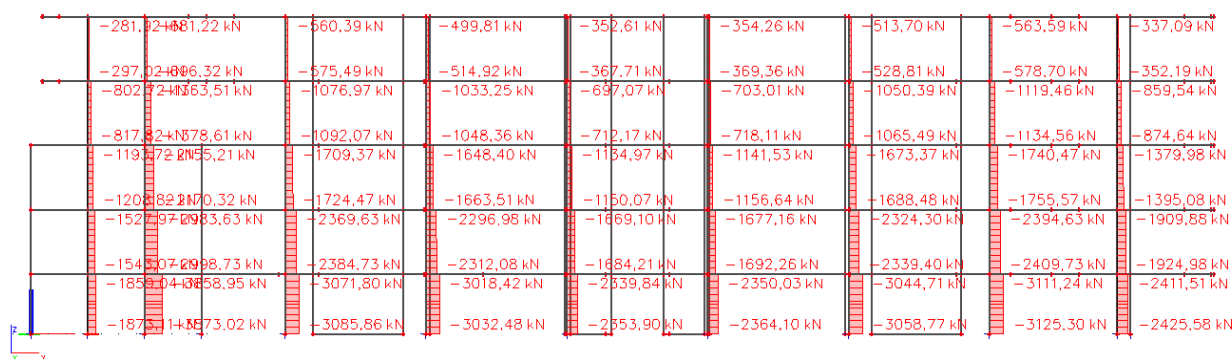
4.3.2.1 Výslednice normálových sil jednotlivých řad sloupů

Řada sloupů – osa A



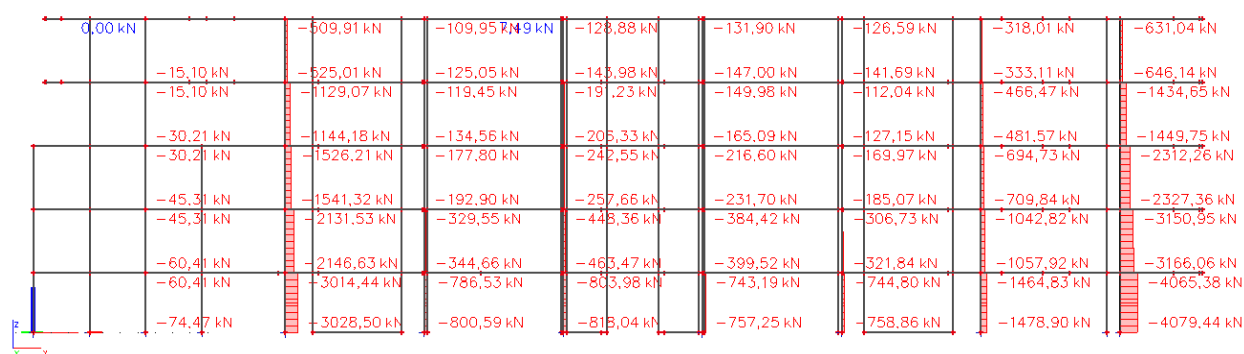
Obrázek 30: Řada A sloupů - normálové síly.

Řada sloupů – osa B



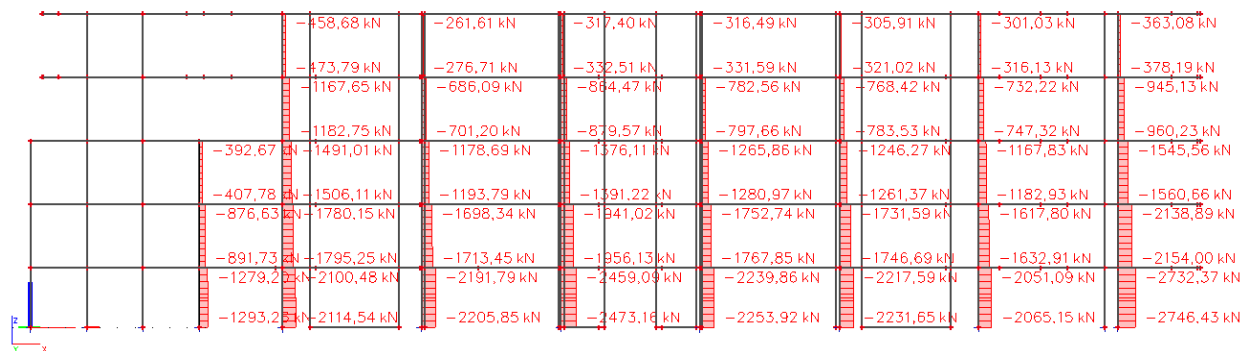
Obrázek 31: Řada B sloupů - normálové síly.

Řada sloupů – osa C



Obrázek 32: Řada C sloupů - normálové síly.

Řada sloupů – osa D



Obrázek 33: Řada D sloupů - normálové síly.

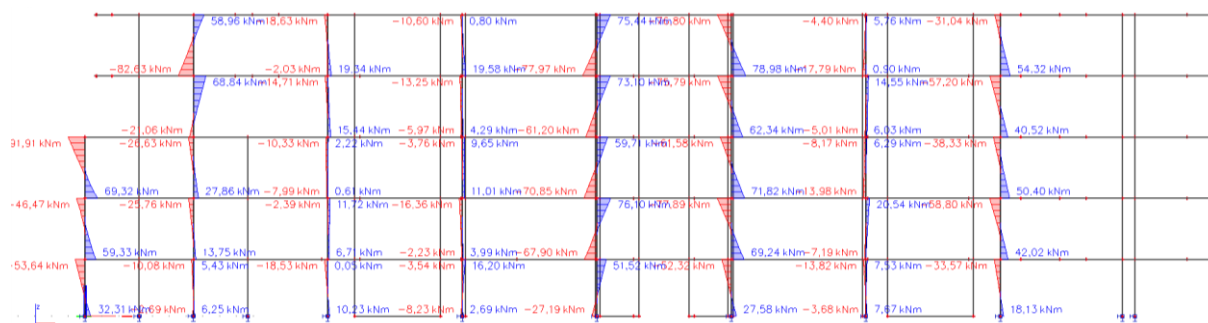
Pro posouzení je dále brána pro první zatěžovací stav následného posudku největší normálová síla ze všech sloupů použitých v konstrukci. Je to sloup v prvním nadzemním podlaží. S hodnotou největší normálové síly potřebujeme také příslušný moment ze stejného zatěžovacího stavu:

$$N_{Ed} = -4079,44 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 30,33 \text{ kNm}$$

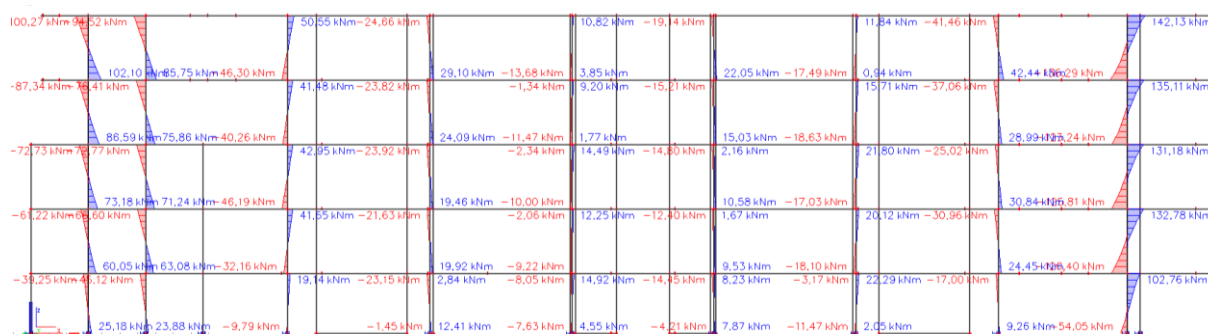
4.3.2.2 Výslednice momentů M_y jednotlivých řad sloupů

Řada sloupů – osa A



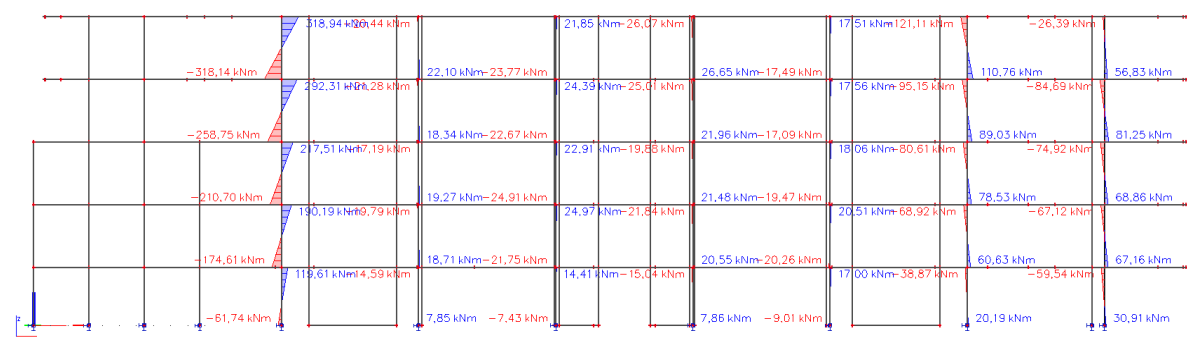
Obrázek 34: Řada A sloupů - momenty M_y .

Řada sloupů – osa B



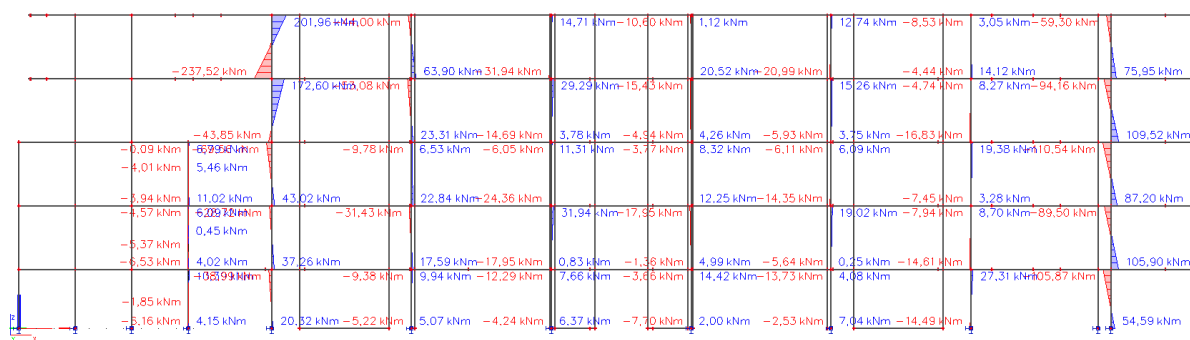
Obrázek 35: Řada B sloupů - momenty M_y .

Řada sloupů – osa C



Obrázek 36: Řada C sloupů - momenty M_y .

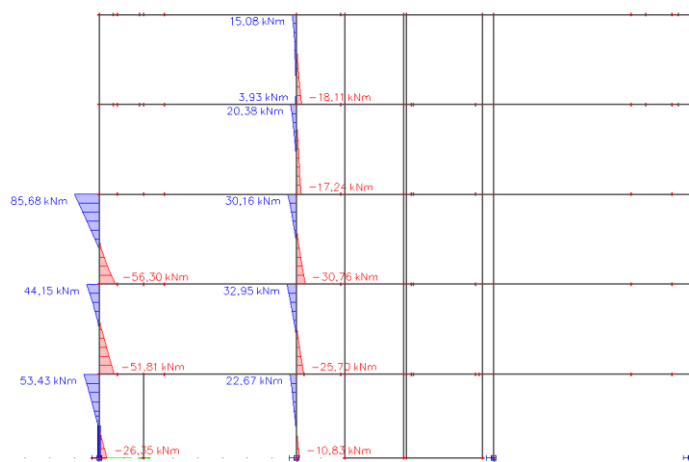
Řada sloupů – osa D



Obrázek 37: Řada D sloupů - momenty M_y .

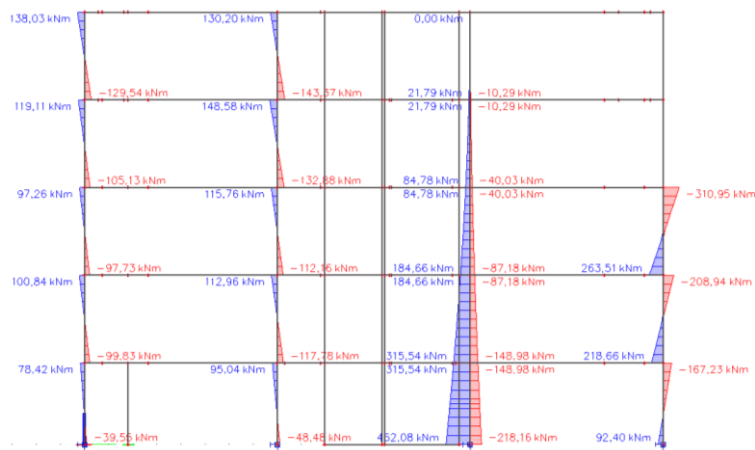
4.3.2.3 Výslednice momentů M_z jednotlivých řad sloupů

Řada sloupů – osa 1



Obrázek 38: První sloupec sloupů - momenty M_z .

Řada sloupů – osa 2



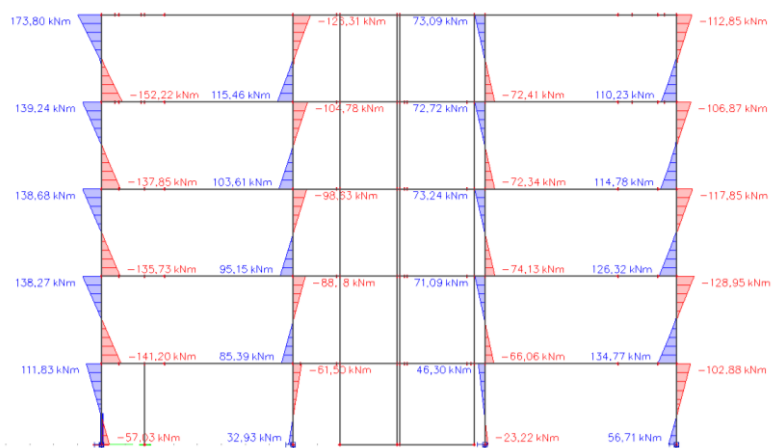
Obrázek 39: Druhý sloupec sloupů - momenty M_z .

Řada sloupů – osa 3



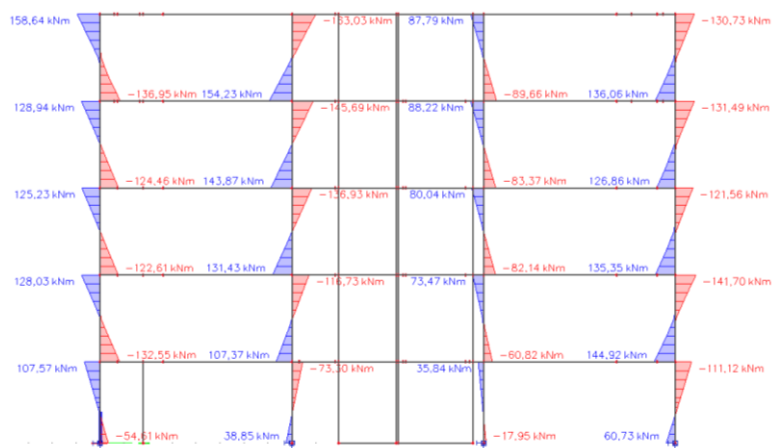
Obrázek 40: Třetí sloupec sloupů - momenty M_z .

Řada sloupů – osa 4



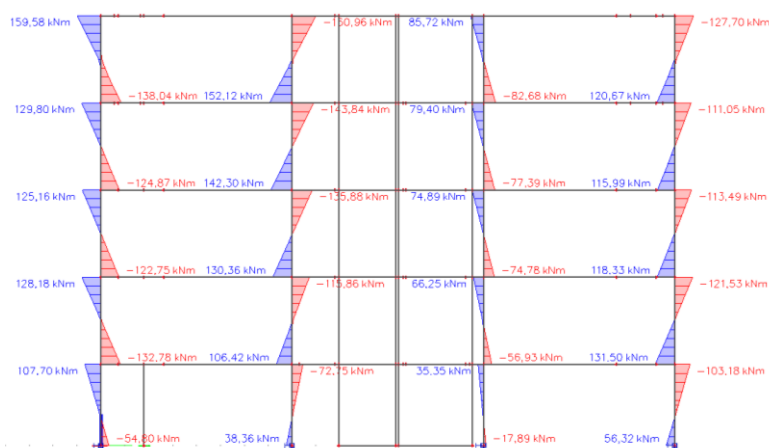
Obrázek 41: Čtvrtý sloupec sloupů - momenty M_z .

Řada sloupů – osa 5



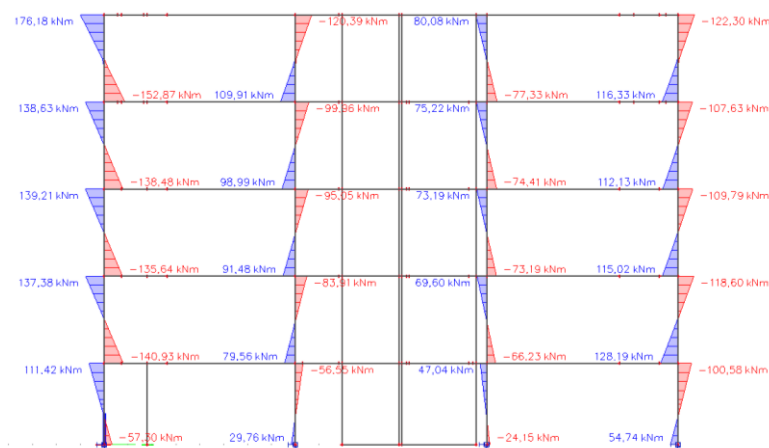
Obrázek 42: Pátý sloupec sloupů - momenty M_z .

Řada sloupů – osa 6



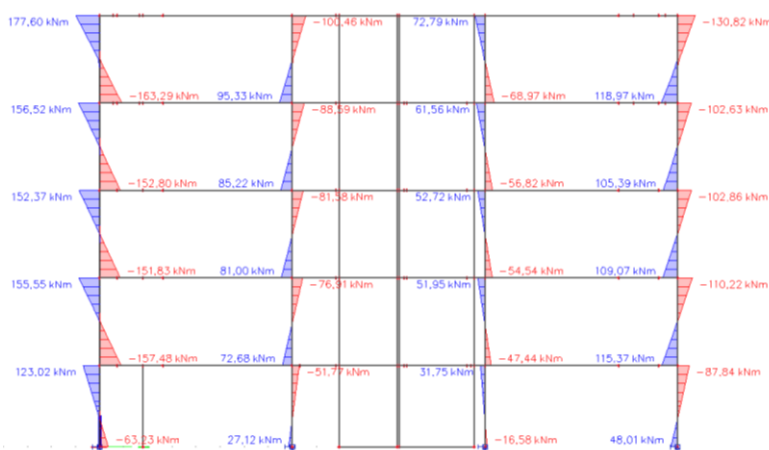
Obrázek 43: Šestý sloupec sloupů - momenty M_z .

Řada sloupů – osa 7



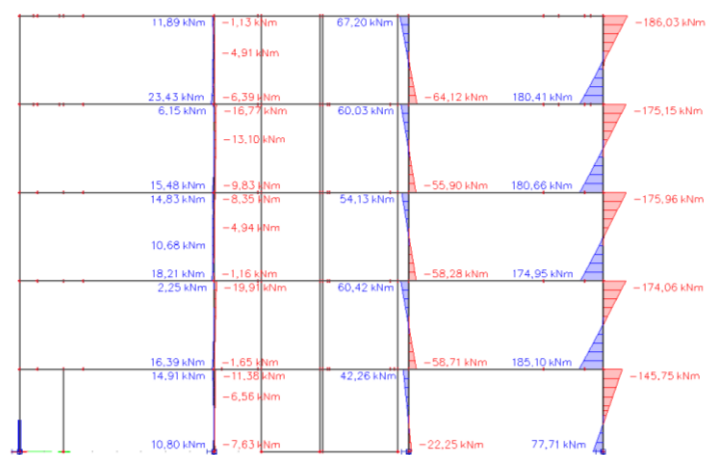
Obrázek 44: Sedmý sloupec sloupů - momenty M_z .

Řada sloupů – osa 8



Obrázek 45: Osmý sloupec sloupů - momenty M_z .

Řada sloupů – osa 9



Obrázek 46: Devátý sloupec sloupů - momenty M_z .

Pro druhý zatěžovací stav následujícího posudku sloupů bude brán největší moment ze všech sloupů v konstrukci. Pro tento největší moment byl použit sloup z prvního nadzemního podlaží a spolu s touto hodnotou je potřeba znát také hodnotu příslušné normálové síly:

$$N_{Ed} = -446,11 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 318,94 \text{ kNm}$$

5. Návrh a posouzení na MSÚ

Ve statickém výpočtu se především zaměřujeme na návrh a posouzení mezního stavu únosnosti hlavních železobetonových prvků celé skeletové konstrukce administrativní budovy. Jako materiál byl použit pro železobetonové prvky beton třídy C30/37 a vyztužení bylo provedeno betonářskou ocelí třídy B500B. Posuzovanými prvky byly sloupy a stropní desky budovy.

Životnost budovy se předpokládá 50 let, s konstrukční třídou S4 a stanoveným stupněm vlivu prostředí na XC1.

Celý výpočet postupuje dle stanovené normy ČSN EN 1992-1-1 [4].

Základní rozměry:

Průměr sloupů použitých v budově: 400 mm

Tloušťka stropních desek ve všech patrech: 250 mm

5.1 Základní informace

5.1.1 Charakteristika materiálu

Beton

Třída betonu: C30/37

Charakteristická pevnost betonu v tlaku: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 20 \text{ MPa}$

Pevnost betonu v tahu: $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$

Betonářská výztuž

Třída oceli: B500B

Charakteristická hodnota meze kluzu: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost oceli: $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$

Pevnost betonu v tahu: $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost betonu v tahu: $f_{ctd} = \frac{f_{ctk\,0,05}}{\gamma_c} = \frac{2}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$

5.1.2 Krytí výztuže

Krytí výztuže je vzdálenost mezi povrchem výztuže nejbližší k povrchu posuzovaného betonového dílu.

Nominální krycí vrstvu vypočítáme: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$ (5.1)

kde c_{min} ... minimální krycí vrstva

Δc_{dev} ... návrhový přírůstek na odchylce

Dle normy je hodnota Δc_{dev} rovna 10 mm.

Hodnota minimální krycí vrstvy c_{min} musíme stanovit jako největší z níže uvedených hodnot:

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \quad (5.2)$$

kde $c_{min,b}$... minimální krycí vrstva z hlediska požadavku soudržnosti

$c_{min,dur}$... minimální krycí vrstva z hlediska podmínky prostředí

$\Delta c_{dur,\gamma}$... přírůstek hodnota z hlediska spolehlivosti prvku

$\Delta c_{dur,st}$... redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové vrstvy

$\Delta c_{dur,add}$... redukce minimální krycí vrstvy při použití přírůstkové ochrany

Dle normy je hodnota $c_{min,b}$ rovna průměru výztuže, kdy záleží na soudržnosti.

Dále byla hodnota $c_{min,dur}$ stanovena na 15 mm. Hodnota byla vyhodnocena z tabulky, kde záleží na podmínky prostředí a také na konstrukční třídě.

Další tři hodnoty $\Delta c_{dur,\gamma}$, $\Delta c_{dur,st}$ a $\Delta c_{dur,add}$ byly stanoveny dle normy na 0 mm.

5.1.3 Požadovaná plocha výztuže

Prvotní návrh minimálního profilu výztuže zjistíme vypočítáním požadované plochy výztuže. Pro posouzení použijeme jako ohybový moment vypočítanou hodnotu $m_{Ed,x}$ ve směru x a také hodnotu $m_{Ed,y}$ ve směru y.

Minimální plocha výztuže

Pro výpočet minimální plochy výztuže vycházíme ze vztahu:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (5.3)$$

kde m_{Ed} ... vnitřní ohybový moment

d ... účinná výška průřezu

f_{yd} ... návrhová hodnota pevnosti oceli

Účinná výška průřezu ve směru x

$$d_x = h - c_{nom} - \frac{\phi_x}{2} \quad (5.4)$$

kde h ... výška průřezu – např. desky

c_{nom} ... nominální krycí vrstva výztuže

ϕ_x ... průměr profilu navrhované výztuže ve směru x

Účinná výška průřezu ve směru y

$$d_y = h - c_{nom} - \frac{\phi_y}{2} - \phi_x \quad (5.5)$$

kde h ... výška průřezu – např. desky

c_{nom} ... nominální krycí vrstva výztuže

ϕ_y ... průměr profilu navrhované výztuže ve směru y

ϕ_x ... průměr profilu navrhované výztuže ve směru x

5.1.4 Posudek výztuže stropní desky

Síla v tlačené výztuži na mezi kluzu

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} \quad (5.6)$$

kde A_s ... minimální plocha výztuže

f_{yd} ... návrhová hodnota pevnosti oceli

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{f_{cd} \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot b} \quad (5.7)$$

kde F_s ... síla v tlačené výztuži na mezi kluzu

f_{cd} ... návrhová pevnost betonu v tlaku

η ... součinitel plnosti obrazce napětí v betonu; $\eta = 1$

b ... šířka tlačené oblasti betonu

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = F_s (d - 0,4 \cdot x) \quad (5.8)$$

kde F_s ... síla v tlačené výztuži na mezi kluzu

d ... účinná výška průřezu z rovnic

x ... výška tlačené oblasti průřezu

Pro posudek je nutná podmínka

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} \quad (5.9)$$

Ověření výšky tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi = \frac{x}{d} \leq \xi_{bal,1} \quad \text{a zároveň} \quad \xi = \frac{x}{d} \leq 0,45 \quad (5.10)$$

kde ξ ... poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

Poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} \quad (5.11)$$

kde f_{yd} ... návrhová pevnost oceli pro B500B

5.1.5 Posudek pro výztuž sloupu

Sloup posuzujeme pomocí interakčního diagramu, kdy se uvažuje namáhání kombinací ohybového momentu a normálové síly. První část výpočtu bude určení jednotlivých bodů interakčního diagramu. Další část je sestavení z jednotlivých vypočítaných bodů určitý interakční diagram. Vyhodnocení tohoto výpočtu záleží na výsledku vnitřních sil. Pokud se bod bude nacházet vevnitř v interakčním diagramu, tak navržená výztuž vyhověla. Pokud navržená výztuž nevyhoví, bude se muset návrh i posudek znovu zopakovat.

Vzdálenost těžiště podélné výztuže od těžiště betonového průřezu:

$$z_1 = \frac{h}{2} - c - \frac{\phi}{2} \quad (5.12)$$

kde h ... je výška posuzovaného sloupu v řezu

c ... krytí výztuže

ϕ ... průměr profilu výztuže sloupu

Vypočítání jednotlivých bodů:

Bod 0

Výška tlačené oblasti: $x = h$

$$N_{Rd,0} = -F_c - F_{s1} - F_{s2} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + \Sigma A_s \cdot \sigma_s) \quad (5.13)$$

kde $\sigma_s = \varepsilon_{cs} \cdot E_s$... napětí, pokud je $\sigma < f_{yd}$, pak pro bod 0 uvažujeme přímo σ

$$M_{Rd,0} = F_{s2} \cdot z_{s2} - F_{s1} \cdot z_{s1} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s \quad (5.14)$$

kde $\eta = 1$

Bod 1

Výška tlačené oblasti: $x = d$, neutrální osa prochází těžištěm výztuže A_{s1}

$$N_{Rd,1} = -F_c - F_{s2} = -(\lambda \cdot b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}) \quad (5.15)$$

kde σ_s ... napětí, pokud je $d \geq \xi_{bal2} \cdot d_2$, pak uvažujeme $\sigma_{s2} = f_{yd}$

$$M_{Rd,1} = F_c \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,5 \cdot \lambda \cdot d \right) + F_{2s} \cdot z_{s2} = \lambda \cdot b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 \quad (5.16)$$

kde $\lambda = 0,8; \eta = 1$

Bod 2

Rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli.

$$N_{Rd,bal} = (-F_c - F_{s2} + F_{s1}) = -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + \Delta F_s) \quad (5.17)$$

$$M_{Rd,bal} = F_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,5 \cdot \lambda \cdot x_{lim}) + F_{2s} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 + F_{s1} \cdot z_1 \quad (5.18)$$

kde $\lambda = 0,8; \eta = 1$

$$\xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}}; \varepsilon_{cu3} \text{ je zvolen dle pracovního diagramu} \quad (5.19)$$

$$x_{lim} = \xi_{bal1} \cdot d \quad (5.20)$$

Bod 3

Nastává prostý ohyb, proto musíme použít mezní stav rovnováhy a musíme najít výšku tlačené oblasti x .

$$N_{Rd,3} = F_c - F_{s1} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} - F_{s1} = 0 \text{ kN} \Rightarrow x = \frac{F_{s1}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} \quad (5.21)$$

Moment únosnosti je počítán k hornímu (tlačenému) okraji:

$$M_{Rd,3} = (F_{s1} \cdot d - F_c \cdot 0,5 \cdot \lambda \cdot x) = F_{s1} \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x) \quad (5.22)$$

kde $\lambda = 0,8; \eta = 1$

Bod 4

Beton v tahu se neuvažuje:

$$N_{Rd,4} = F_{s1} \quad (5.23)$$

Moment únosnosti je počítán ke středu průřezu:

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_1 \quad (5.24)$$

Bod 5

Je zde plné využití výztuže v tahu.

$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} \quad (5.25)$$

Moment únosnosti je počítán ke středu průřezu:

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 \quad (5.26)$$

Bod 6

Nachází se pod vrcholem interakčního diagramu, kde vymezuje jakousi pomyslnou špičku diagramu, kde už průřez nevyhoví.

$$N_{Rd,6} = \frac{M_{Rd,1} + e_a \cdot N_{Rd,1}}{(e_{Rd,0} + e_0) + e_a} \quad (5.27)$$

kde všechny hodnoty byly dosazeny v absolutních hodnotách

$$e_0 = \max \left\{ \frac{h}{30} \right\}_{20 \text{ mm}} \quad (5.28)$$

$$e_{Rd,0} = \frac{M_{Rd,0}}{N_{Rd,0}} \quad (5.29)$$

$$e_a = \frac{M_{Rd,1} - M_{Rd,0}}{N_{Rd,0} - N_{Rd,1}} \quad (5.30)$$

$$M_{Rd,6} = N_{Rd,6} \cdot (e_{Rd,0} + e_0) \quad (5.31)$$

5.1.6 Posouzení limitní štíhlosti

Účinky druhého řádu se mohou zanedbat u štíhlých prvků, které splní následující podmínku.

Podmínka limitní štíhlosti

$$\lambda \leq \lambda_{lim} \quad (5.31)$$

kde λ ... skutečná štíhlost prvku

λ_{lim} ... limitní štíhlost prvku

Skutečná štíhlost prvku

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (5.32)$$

kde l_0 ... účinná délka sloupu závislá na jeho podepření

i ... poloměr setrvačnosti průřezu sloupu

Limitní štíhlost prvku

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} \quad (5.33)$$

kde A ... hodnota A = 0,7
 B ... hodnota B = 1,1
 C ... hodnota C
 n ... poměrná normálová síla

Hodnota C

$$C = 1,7 - r_m \quad (5.34)$$

kde r_m ... poměr momentů

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}}$$

M_{01} ... koncový ohybový moment v hlavě sloupu

M_{02} ... koncový ohybový moment v patě sloupu

5.1.7 Konstrukční zásady

5.1.7.1 Omezení množství hlavní výztuže

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = \max \begin{cases} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d \\ 0,0013 \cdot b \cdot d \end{cases} \quad (5.35)$$

kde f_{ctm} ... střední hodnota pevnosti betonu v tahu pro C30/37

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

b ... šířka tlačené oblasti betonu

d ... účinná výška průřezu

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot b \cdot h \quad (5.36)$$

kde b ... šířka tlačené oblasti betonu

h ... výška průřezu

Podmínka

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \quad (5.37)$$

kde $A_{s,min}$... minimální plocha výztuže

A_s ... plocha navržené výztuže

$A_{s,max}$... maximální plocha výztuže

5.1.7.2 Maximální osová vzdálenost hlavní výztuže

Maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} \quad (5.38)$$

kde h ... výška průřezu

Podmínka

$$s < s_{max} \quad (5.39)$$

kde s ... skutečná osová vzdálenost

s_{max} ... maximální osová vzdálenost prutů

5.1.7.3 Minimální světlá vzdálenost prutů

Minimální světlá vzdálenost

$$s_{min} = \max \begin{cases} k_1 \cdot \emptyset \\ d_g + k_2 \\ 20 \text{ mm} \end{cases} \quad (5.40)$$

kde k_1 ... dle normy $k_1 = 1,0$; dle normy [4]

\emptyset ... průměr profilu výztuže

d_g ... maximální průměr kameniva; $d_g = 16 \text{ mm}$

k_2 ... dle normy $k_2 = 5,0$; dle normy [4]

Podmínka

$$s > s_{min} \quad (5.41)$$

kde s ... světlá vzdálenost prutů

s_{min} ... minimální světlá vzdálenost prutů

5.1.7.4 Minimální kotevní délka

Mezní napětí soudržnosti betonu

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad (5.42)$$

kde η_1 ... součinitel definující podmínky při betonáži; $\eta_1 = 1,0$ – dobré

η_2 ... součinitel závisející na průměru prutu

f_{ctd} ... návrhová pevnost betonu v tahu

Základní kotevní délka

$$l_{b,rgd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad (5.43)$$

kde σ_{sd} ... návrhové napětí v prutu; $\sigma_{sd} = f_{yd}$

f_{bd} ... mezní napětí soudržnosti betonu

5.1.7.5 Kotevní délka

$$l_b = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} \quad (5.44)$$

kde $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5$... součinitelé rovné 1

$l_{b,rgd}$... základní kotevní délka

5.1.7.6 Minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max \begin{cases} 0,3 \cdot l_{b,rgd} \\ 10 \cdot \emptyset \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \quad (5.45)$$

kde $l_{b,rgd}$... základní kotevní délka

\emptyset ... průměr profilu výztuže

5.2 Posouzení stropní desky

Ohybový moment na stropních deskách byl spočítán pomocí zjednodušené metody součtových momentů v kapitole 4.2.1.

Pro posudek byly použity již dříve vypočítané momenty:

$$m_{Ed,x,sl}^+ = 53,94 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř}^+ = 35,96 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,sl}^- = 125,22 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř}^- = 41,74 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl}^+ = 53,94 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř}^+ = 35,96 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl}^- = 125,22 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř}^- = 41,74 \text{ kNm}$$

Pro posouzení dolního povrchu desky byly použity kladné momenty a pro posouzení horního povrchu byly použity záporné momenty.

Pro posouzení byla navržena hlavní nosná výztuž o průměru **14 mm**.

Krytí výztuže pro návrh 14 mm

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Po dosazení jednotlivých hodnot dostaneme výsledek pro minimální krycí vrstvu:

$$c_{min} = \max \{14; 15; 10 \text{ mm}\} = 15 \text{ mm}$$

Po odsazení vypočítané hodnoty minimální krycí vrstvy můžeme vypočítat nutnou krycí vrstvu pro následující posudek:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost výztuže:

$$s_{max} = \min(2 \cdot h; 300) = \min(2 \cdot 250 = 500; 300) = 300 \text{ mm}$$

kde h ... výška průřezu desky

5.2.1 Posouzení dolního povrchu desky – kladné momenty

5.2.1.1 Posouzení kladného momentu ve směru x

Ohybový moment: $m_{Ed,x,sl}^+ = 53,94 \text{ kNm}$

$$m_{Ed,x,stř}^+ = 35,96 \text{ kNm}$$

Navržená výztuž: $\emptyset = 14 \text{ mm}$

Účinná výška průřezu:

Po dosazení hodnot do vzorce z kapitoly 5.1.3 dostaneme výslednou účinnou výšku průřezu.

$$d_x = h - c_{nom} - \frac{\phi_x}{2} = 250 - 25 - \frac{14}{2} = 218 \text{ mm}$$

Návrh pro moment ve sloupovém pásu $m_{Ed,x,sl}^+ = 53,94 \text{ kNm}$

Minimální plocha výztuže:

Opět dosadíme konkrétní hodnoty do daného vzorce z kapitoly 5.1.3.

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{53,94 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,218 \cdot 434,78} = 632,32 \text{ mm}^2$$

Návrh: $\emptyset 14 \text{ mm}/150 \text{ mm}$

Plocha navržené výztuže: $A_s = \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \cdot \frac{1000}{150} = \pi \cdot \frac{14^2}{4} \cdot \frac{1000}{150} = 1026 \text{ mm}^2$

Síla v tlačené výztuži na mezi kluzu:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1026 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 446,2 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{f_{cd} \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot b} = \frac{446,2}{20 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1} = 27,89 \text{ mm}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = F_s(d - 0,4 \cdot x) = 446,2 \cdot (218 - 0,4 \cdot 27,89) \cdot 10^{-3} = 92,29 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 92,29 \text{ kNm} > 53,94 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

Ověření výšky tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi = \frac{x}{d_x} = \frac{27,89}{218} = 0,128 \leq \xi_{bal,1} = 0,617 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\xi = \frac{x}{d_x} = 0,128 \leq 0,45 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady:

Omezení množství hlavní tahové výztuže:

$$A_{s,req} < A_s = 632,32 \text{ mm}^2 < 1026 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

$$\text{kde } A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 218 = 316,1 \\ 0,0013 \cdot 1000 \cdot 218 = 283,4 \end{array} \right\} = 316,1 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot 250 \cdot 1000 = 10\,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Po dosazení: } 316,1 \text{ mm}^2 < 1026 \text{ mm}^2 < 10\,000 \text{ mm}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení osové vzdálenosti výztuže:

$$s_{max} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_1 \cdot \emptyset \\ d_g + k_2 \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \cdot 14 \\ 16 + 5 \\ 20 \end{array} \right\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{min} < s < s_{max} = 21 \text{ mm} < 150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délky

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rgd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{14}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 507,25 \text{ mm}$$

Kotevní délka:

$$l_b = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 507,25 = 507,25 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{b,rgd} \\ 10 \cdot \emptyset \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot 507,25 = 152,17 \\ 10 \cdot 14 = 140 \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 152,17 \text{ mm}$$

$$l_b \geq l_{b,min} = 507,25 \text{ mm} \geq 152,17 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Návrh pro moment ve středovém pásu $m_{Ed,x,stř}^+ = 35,96 \text{ kNm}$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{35,96 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,218 \cdot 434,78} = 421,55 \text{ mm}^2$$

Návrh: Ø 14 mm/300 mm

$$\text{Plocha navržené výztuže: } A_s = \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \cdot \frac{1000}{300} = \pi \cdot \frac{14^2}{4} \cdot \frac{1000}{300} = 513 \text{ mm}^2$$

Síla v tlačené výztuži na mezi kluzu:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 513 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 223,1 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{f_{cd} \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot b} = \frac{223,1}{20 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1} = 13,94 \text{ mm}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = F_s (d - 0,4 \cdot x) = 223,1 \cdot (218 - 0,4 \cdot 13,94) \cdot 10^{-3} = 47,4 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 47,4 \text{ kNm} > 35,96 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

Ověření výšky tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi = \frac{x}{d_x} = \frac{13,94}{218} = 0,064 \leq \xi_{bal,1} = 0,617 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\xi = \frac{x}{d_x} = 0,064 \leq 0,45 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady:

Omezení množství hlavní tahové výztuže:

$$A_{s,req} < A_s = 421,55 \text{ mm}^2 < 513 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

$$\text{Po dosazení: } 316,1 \text{ mm}^2 < 513 \text{ mm}^2 < 10\,000 \text{ mm}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení osové vzdálenosti výztuže:

$$s_{min} < s < s_{max} = 21 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délky

$$l_b \geq l_{b,min} = 507,25 \text{ mm} \geq 152,17 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.2.1.2 Posouzení kladného momentu ve směru y

Posouzení probíhá stejným způsobem jako ve směru x. Moment pro posouzení je stejný jako ve směru x z důvodu čtvercové sítě, kdy je rozpětí mezi sloupy ve směru x a y stejné. I přesto je nutné výztuž přepočítat z důvodu rozdílného účinného průřezu.

Ohybový moment: $m_{Ed,y}^+ = 53,94 \text{ kNm}$

$$m_{Ed,y,stř}^+ = 35,96 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže bude stejný jako pro výpočet ve směru x: Ø 14 mm

Účinná výška průřezu:

Po dosazení hodnot do vzorce z kapitoly 5.1.3 dostaneme výslednou účinnou výšku průřezu.

Při výpočtu této hodnoty byla zohledněna i výztuž ve směru x.

$$d_y = h - c_{nom} - \frac{\phi_y}{2} - \phi_x = 250 - 25 - \frac{14}{2} - 14 = 204 \text{ mm}$$

Návrh pro moment ve sloupovém pásu $m_{Ed,y,sl}^+ = 53,94 \text{ kNm}$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{53,94 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,204 \cdot 434,78} = 675,7 \text{ mm}^2$$

Návrh: Ø 14 mm/150 mm

Síla v tlačené výztuži a výška tlačené oblasti:

Tyto dvě veličiny jsou vypočteny pomocí stejných vzorců jako ve směru x. Výsledky se v ničem neliší. V těchto vzorcích není zohledněna rozdílná účinná výška průřezu.

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1026 \cdot 434,78 = 446,2 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{f_{cd} \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot b} = \frac{446,2 \cdot 10^3}{20 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1} = 27,89 \text{ mm}$$

Moment na mezi únosnosti

U momentu už musí dojít k přepočítání, z důvodu změny účinné výšky průřezu.

$$M_{Rd} = F_s(d - 0,4 \cdot x) = 446,2 \cdot (204 - 0,4 \cdot 27,89) = 86,05 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 86,05 \text{ kNm} > 53,94 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Ověření výšky tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi = \frac{x}{d_y} = \frac{27,89}{204} = 0,137 \leq \xi_{bal,1} = 0,617 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\xi = \frac{x}{d_y} = 0,137 \leq 0,45 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady:

Omezení množství hlavní tahové výztuže:

Posouzení z hlediska výztuže je provedena stejně jako ve směru x.

$$A_{s,req} < A_s = 675,7 \text{ mm}^2 < 1026 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

$$\text{kde } A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 1000 \cdot 204 = 295,8 \\ 0,0013 \cdot 1000 \cdot 204 = 265,2 \end{array} \right\} = 295,8 \text{ mm}^2$$

$$295,8 \text{ mm}^2 < 1026 \text{ mm}^2 < 10\,000 \text{ mm}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Stejné posouzení osové vzdálenosti výztuže:

$$s_{min} < s < s_{max} = 21 \text{ mm} < 150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délky

Jelikož máme stejný návrh výztuže, tak není nutné kotevní délku přepočítávat.

$$l_b \geq l_{b,min} = 507,25 \text{ mm} \geq 152,17 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Návrh pro moment ve středovém pásu $m_{Ed,y,stř}^+ = 35,96 \text{ kNm}$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{35,96 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,204 \cdot 434,78} = 450,5 \text{ mm}^2$$

Návrh: Ø 14 mm/300 mm

Síla v tlačené výztuži na mezi kluzu:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 513 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 223,1 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{f_{cd} \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot b} = \frac{223,1}{20 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1} = 13,94 \text{ mm}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = F_s (d - 0,4 \cdot x) = 223,1 \cdot (204 - 0,4 \cdot 13,94) \cdot 10^{-3} = 44,3 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 44,3 \text{ kNm} > 35,96 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

Ověření výšky tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi = \frac{x}{d_y} = \frac{13,94}{204} = 0,068 \leq \xi_{bal,1} = 0,617 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\xi = \frac{x}{d_x} = 0,068 \leq 0,45 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady:

Omezení množství hlavní tahové výztuže:

$$A_{s,req} < A_s = 450,5 \text{ mm}^2 < 513 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

$$\text{Po dosazení: } 295,8 \text{ mm}^2 < 513 \text{ mm}^2 < 10\,000 \text{ mm}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení osové vzdálenosti výztuže:

$$s_{min} < s < s_{max} = 21 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délky

$$l_b \geq l_{b,min} = 507,25 \text{ mm} \geq 152,17 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.2.2 Posouzení horního povrchu desky – záporné momenty

5.2.2.1 Posouzení záporného momentu ve směru x

Posouzení proběhne stejným způsobem jako posouzení kladného momentu dolního povrchu desky.

Ohybový moment: $m_{Ed,x}^- = 125,22 \text{ kNm}$

$$m_{Ed,x,stř}^- = 41,74 \text{ kNm}$$

Navržená výztuž: $\emptyset = 14 \text{ mm}$

Účinná výška průřezu:

Po dosazení hodnot do vzorce z kapitoly 5.1.3 dostaneme výslednou účinnou výšku průřezu.

$$d_x = h - c_{nom} - \frac{\phi_x}{2} = 250 - 25 - \frac{14}{2} = 218 \text{ mm}$$

Návrh pro moment ve sloupovém pásu $m_{Ed,x,sl}^- = 125,22 \text{ kNm}$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{125,22 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,218 \cdot 434,78} = 1468 \text{ mm}^2$$

Návrh: Ø 14 mm/80 mm

$$\text{Plocha navržené výztuže: } A_s = \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \cdot \frac{1000}{80} = \pi \cdot \frac{14^2}{4} \cdot \frac{1000}{80} = 1924 \text{ mm}^2$$

Síla v tlačené výztuži na mezi kluzu:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1924 \cdot 434,78 = 836,6 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{f_{cd} \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot b} = \frac{836,6 \cdot 10^3}{20 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1} = 52,29 \text{ mm}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = F_s(d - 0,4 \cdot x) = 836,6 \cdot (218 - 0,4 \cdot 52,29) = 164,88 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 164,88 \text{ kNm} > 125,22 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

Ověření výšky tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi = \frac{x}{d_x} = \frac{52,29}{218} = 0,239 \leq \xi_{bal,1} = 0,617 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\xi = \frac{x}{d_x} = 0,239 \leq 0,45 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady:

Omezení množství hlavní tahové výztuže:

$$A_{s,req} < A_s = 1468 \text{ mm}^2 < 1924 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

$$\text{Po dosazení: } 316,1 \text{ mm}^2 < 1924 \text{ mm}^2 < 10\,000 \text{ mm}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení osové vzdálenosti výztuže:

$$s_{min} < s < s_{max} = 21 \text{ mm} < 80 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délky

Pro výpočet kotevní délky je důležitý průměr výztuže, protože máme průměr výztuže stále stejný, tak není nutné kotevní délku přepočítávat.

$$l_b \geq l_{b,min} = 507,25 \text{ mm} \geq 152,17 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Návrh pro moment ve středovém pásu $m_{Ed,x,stř}^- = 41,74 \text{ kNm}$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{41,74 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,218 \cdot 434,78} = 489,3 \text{ mm}^2$$

Návrh: Ø 14 mm/250 mm

$$\text{Plocha navržené výztuže: } A_s = \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \cdot \frac{1000}{250} = \pi \cdot \frac{14^2}{4} \cdot \frac{1000}{250} = 615,8 \text{ mm}^2$$

Síla v tlačené výztuži na mezi kluzu:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 615,8 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 267,7 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{f_{cd} \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot b} = \frac{267,7}{20 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1} = 16,7 \text{ mm}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = F_s(d - 0,4 \cdot x) = 267,7 \cdot (218 - 0,4 \cdot 16,7) \cdot 10^{-3} = 56,6 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 56,6 \text{ kNm} > 35,96 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

Ověření výšky tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi = \frac{x}{d_x} = \frac{16,7}{218} = 0,077 \leq \xi_{bal,1} = 0,617 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\xi = \frac{x}{d_x} = 0,077 \leq 0,45 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady:

Omezení množství hlavní tahové výztuže:

$$A_{s,req} < A_s = 489,3 \text{ mm}^2 < 615,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

$$\text{Po dosazení: } 316,1 \text{ mm}^2 < 615,8 \text{ mm}^2 < 10\,000 \text{ mm}^2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení osové vzdálenosti výztuže:

$$s_{min} < s < s_{max} = 21 \text{ mm} < 250 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délky

$$l_b \geq l_{b,min} = 507,25 \text{ mm} \geq 152,17 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.2.2.2 Posouzení záporného momentu ve směru y

Posouzení probíhá stejným způsobem jako ve směru x. Moment pro posouzení je opět stejný, jako tomu bylo taktéž při výpočtu kladné výztuže. Opět musíme i přesto výztuž přepočítat z důvodu rozdílného účinného průřezu.

Ohybový moment: $m_{Ed,y}^- = 125,22 \text{ kNm}$

$$m_{Ed,y,stř}^- = 41,74 \text{ kNm}$$

Návrh výztuže bude stejný jako pro výpočet ve směru x: Ø 14 mm

Účinná výška průřezu:

Postup je stejný jako při výpočtu výztuže při dolním povrchu desky.

$$d_y = h - c_{nom} - \frac{\phi_y}{2} - \phi_x = 250 - 25 - \frac{14}{2} - 14 = 204 \text{ mm}$$

Návrh pro moment ve sloupovém pásu $m_{Ed,y,sl}^- = 125,22 \text{ kNm}$

Návrh: Ø 14 mm/80 mm

Síla v tlačené výztuži a výška tlačené oblasti:

Tyto dvě veličiny jsou vypočteny pomocí stejných vzorců jako ve směru x.

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1924 \cdot 434,78 = 836,6 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{f_{cd} \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot b} = \frac{836,6 \cdot 10^3}{20 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1} = 52,29 \text{ mm}$$

Moment na mezi únosnosti

Při výpočtu momentu už musí opět dojít k přepočítání, z důvodu změny účinné výšky průřezu.

$$M_{Rd} = F_s(d - 0,4 \cdot x) = 836,6 \cdot (204 - 0,4 \cdot 52,29) = 153,17 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 153,17 \text{ kNm} > 125,22 \text{ kNm} \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Ověření výšky tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi = \frac{x}{d_y} = \frac{52,29}{204} = 0,256 \leq \xi_{bal,1} = 0,617 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\xi = \frac{x}{d_y} = 0,256 \leq 0,45 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady:

Omezení množství hlavní tahové výztuže:

Posouzení z hlediska výztuže je provedena stejně jako ve směru x.

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

$$295,8 \text{ mm}^2 < 1924 \text{ mm}^2 < 10\,000 \text{ mm}^2$$

VYHOVUJE

Stejně posouzení osově vzdálenosti výztuže:

$$s_{min} < s < s_{max} = 21 \text{ mm} < 80 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Kotevní délky

Jelikož máme stejný návrh výztuže, tak není nutné kotevní délku přepočítávat.

$$l_b \geq l_{b,min} = 507,25 \text{ mm} \geq 152,17 \text{ mm} \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Návrh pro moment ve středovém pásu $m_{Ed,y,stř}^- = 41,74 \text{ kNm}$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{41,74 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,204 \cdot 434,78} = 522,9 \text{ mm}^2$$

Návrh: Ø 14 mm/250 mm

$$\text{Plocha navržené výztuže: } A_s = \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \cdot \frac{1000}{250} = \pi \cdot \frac{14^2}{4} \cdot \frac{1000}{250} = 615,8 \text{ mm}^2$$

Síla v tlačené výztuži na mezi kluzu:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 615,8 \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 267,7 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{f_{cd} \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot b} = \frac{267,7}{20 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1} = 16,7 \text{ mm}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = F_s(d - 0,4 \cdot x) = 267,7 \cdot (204 - 0,4 \cdot 16,7) \cdot 10^{-3} = 52,8 \text{ kNm}$$

Posouzení:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 52,8 \text{ kNm} > 35,96 \text{ kNm} \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Poměrná výška tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

Ověření výšky tlačené oblasti na mezi kluzu ve výztuži

$$\xi = \frac{x}{d_y} = \frac{16,7}{204} = 0,082 \leq \xi_{bal,1} = 0,617 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\xi = \frac{x}{d_y} = 0,082 \leq 0,45 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady:

Omezení množství hlavní tahové výztuže:

$$A_{s,req} < A_s = 489,3 \text{ mm}^2 < 615,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max}$$

$$\text{Po dosazení: } 295,8 \text{ mm}^2 < 615,8 \text{ mm}^2 < 10\,000 \text{ mm}^2$$

VYHOVUJE

Posouzení osové vzdálenosti výztuže:

$$s_{min} < s < s_{max} = 21 \text{ mm} < 250 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Kotevní délky

$$l_b \geq l_{b,min} = 507,25 \text{ mm} \geq 152,17 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.3 Posouzení sloupu

Sloupy mají kruhový průřez o průměru 400 mm. Výpočet kruhových sloupů je proveden zjednodušeně jako pro obdélníkový průřez.

5.3.1 Vstupní údaje

Materiál je použit stejný jako pro stropní železobetonovou desku a všechny hodnoty materiálů jsou uvedeny v kapitole 5.1.1.

$$\text{Přetvoření oceli na mezi kluzu: } \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200} = 2,1739\text{‰} \quad (5.46)$$

$$\xi_{bal1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,1739} = 0,617 \quad (5.47)$$

$$\xi_{bal2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 - 2,1739} = 2,639 \quad (5.48)$$

5.3.2 Krytí výztuže

$$c_{st,req} = \max \{ c_{min,b}(\varnothing_{st}); c_{min,b}(\varnothing) - \varnothing_{st} \} + \Delta c_{dev} \quad (5.49)$$

$$\text{kde } c_{min,b}(\varnothing_{st}) = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,b}(\varnothing) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{st,req} = \max \{ 8; 25 - 8 \} + 10 = 27 \text{ mm} \sim c_{st} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Krycí vrstva podélné výztuže: } c = c_{st} + \varnothing_{st} = 30 + 8 = 38 \text{ mm}$$

5.3.3 Základní údaje pro výpočet

Zatěžovací stavy

1. zatěžovací stav – maximální hodnota normálové síly a momentu stejného sloupu a zatěžovacího stavu:

$$N_{Ed} = -4079,44 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 30,33 \text{ kNm}$$

2. zatěžovací stav – maximální hodnota momentu a normálové síly stejného sloupu a zatěžovacího stavu:

$$N_{Ed} = -446,11 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 318,94 \text{ kNm}$$

Účinná výška průřezu:

$$d_2 = c_1 + 0,5 \cdot \varnothing = 38 + 0,5 \cdot 25 = 50,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 400 - 50,5 = 349,5 \text{ mm}$$

Vzdálenost těžiště podélné výztuže od těžiště betonového průřezu:

Výpočet proveden dle kapitoly 5.1.5, kdy po dosazení hodnot do rovnice pro těžiště dostaneme konkrétní výsledek této vzdálenosti.

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - c - \frac{\varnothing}{2} = \frac{400}{2} - 38 - \frac{25}{2} = 149,5 \text{ mm}$$

5.3.4 Návrh

Navržená výztuž:

Hlavní nosná výztuž: 8 Ø 25 mm

Třmínky: kruhové Ø_{st} 8/250

Plocha navržené výztuže: $A_{s1} = \pi \cdot \frac{\varnothing^2}{4} \cdot 4 = \pi \cdot \frac{25^2}{4} \cdot 4 = 1963 \text{ mm}^2$

Je nutné také porovnat plochy výztuže:

$$A_{s,min} < \Sigma A_{s1} < A_{s,max}$$

$$\text{kde } A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 4079,44 \cdot 10^3}{434,78} = 938,27 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 400^2 = 6400 \text{ mm}^2$$

Po dosazení: **$938,27 \text{ mm}^2 < 2 \cdot 1963 = 3927 \text{ mm}^2 < 6400 \text{ mm}^2$** **VYHOVUJE**

Síla v prutech:

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1963 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 853,69 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 1963 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 853,69 \text{ kN}$$

5.3.5 Výpočet jednotlivých bodů interakčního diagramu

V následující části bude proveden výpočet jednotlivých bodů interakčního diagramu. Všechny hodnoty budou provedeny dle vzorců v kapitole 5.1.5.

Bod 0

$$N_{Rd,0} = -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + \Sigma A_s \cdot \sigma_s)$$

kde $\sigma_s = \varepsilon_{c3} \cdot E_s$... ε_{c3} je konstantní přetvoření betonu a $\varepsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$

$$\sigma_s = 1,75 \cdot 200 = 350 \text{ MPa}$$

Při posouzení: $\sigma_s = 350 \text{ MPa} < f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \Rightarrow$ uvažujeme přímo napětí

Po dosazení do rovnice pro normálovou sílu dostaneme konkrétní hodnotu této síly.

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= -(0,4 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 2 \cdot 1963 \cdot 10^{-6} \cdot 350 \cdot 10^3) = \\ &= -4574,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s = 0 \text{ kNm}$$

Bod 1

$$N_{Rd,1} = -(\lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2})$$

kde $d = 349,5 \text{ mm} \geq \xi_{bal2} \cdot d_2 = 2,639 \cdot 50,5 = 133,26 \text{ mm}$

$$\Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

Po dosažení do předchozí rovnice:

$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= -(0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,3495 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1963 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3) = \\ &= -3090,49 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,1} &= \lambda \cdot b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,3495 \cdot 1 \cdot \\ &\quad \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,3495) + 853,69 \cdot 0,1495 = \\ &= 262,28 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Bod 2

$$\begin{aligned} N_{Rd,bal} &= -(\lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + \Delta F_s) = -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,3495 \cdot 1 \cdot \\ &\quad \cdot 20 \cdot 10^3 + 853,69 - 853,69) = -1379,79 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot \xi_{bal1} \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 + F_{s1} \cdot z_1 =$$

$$= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,3495 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,3495 + 853,69 \cdot 0,1495 + 853,69 \cdot 0,1495) = 412,22 \text{ kNm}$$

Bod 3

$$N_{Rd,3} = F_c - F_{s1} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} - F_{s1} = 0 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow x = \frac{F_{s1}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{853,69}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,133 \text{ m}$$

$$M_{Rd,3} = F_{s1} \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x) = 853,69 \cdot (0,3495 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,133) = 252,82 \text{ kNm}$$

Bod 4

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = 853,69 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_1 = 853,69 \cdot 0,1495 = 127,63 \text{ kNm}$$

Bod 5

$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} = 853,69 + 853,69 = 1707,38 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 853,69 \cdot 0,1495 - 853,69 \cdot 0,1495 = 0 \text{ kNm}$$

Bod 6

$$N_{Rd,6} = \frac{M_{Rd,1} + e_a \cdot N_{Rd,1}}{(e_{Rd,0} + e_0) + e_a}$$

kde všechny hodnoty byly dosazeny v absolutních hodnotách

$$e_0 = \max \left\{ \frac{h}{30} \right\} = \max \left\{ \frac{400}{30} = 13,333 \right\} = 20 \text{ mm}$$

$$e_{Rd,0} = \frac{M_{Rd,0}}{N_{Rd,0}} = \frac{0}{4574,45} = 0$$

$$e_a = \frac{M_{Rd,1} - M_{Rd,0}}{N_{Rd,0} - N_{Rd,1}} = \frac{262,28 - 0}{4574,45 - 3090,49} = 0,177 \text{ m}$$

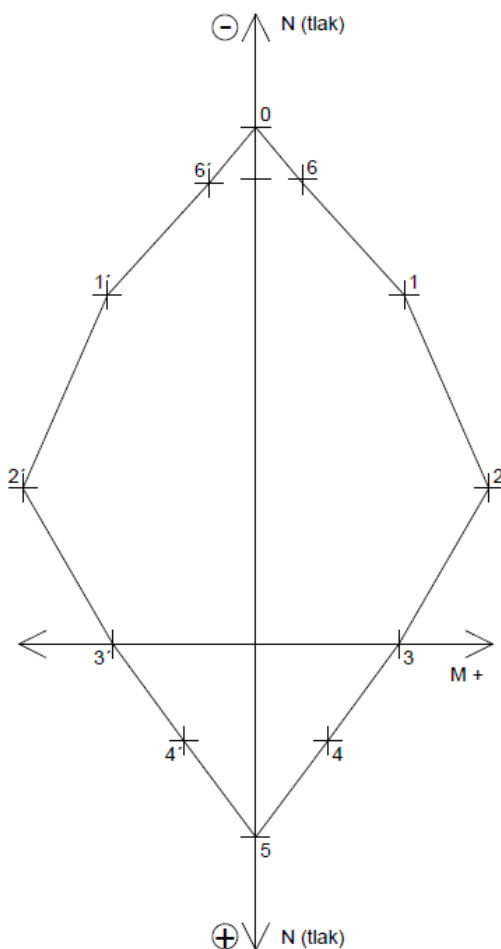
Po dosažení dostaneme hodnoty $N_{Rd,6}$:

$$N_{Rd,6} = \frac{M_{Rd,1} + e_a \cdot N_{Rd,1}}{(e_{Rd,0} + e_0) + e_a} = \frac{262,28 + 0,177 \cdot 3090,49}{(0 + 0,02) + 0,177} = 4109,44 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,6} = N_{Rd,6} \cdot (e_{Rd,0} + e_0) = 4109,44 \cdot (0 + 0,02) = 82,19 \text{ kNm}$$

5.3.6 Interakční diagram

Po provedení výpočtu jednotlivých bodů, vytvoříme z těchto bodů interakční diagram.



Obrázek 47: Interakční diagram.

5.3.7 Posouzení výztuže sloupu

Máme dvě části posouzení sloupů interakčním diagramem. První částí je posouzení grafické. Při tomto posudku je do interakčního diagramu zakreslena souřadnice posuzovaných bodů. Druhou částí je posouzení numerické. Pro numerický posudek je nutné posoudit jednotlivé hodnoty normálových sil.

Pro numerické posouzení platí dvě podmínky:

$|N_{Ed}| > |N_{Rdbal}|$...pro tento případ převládá tlak a posouzení se provede dle rovnice přímky

$|N_{Ed}| \leq |N_{Rdbal}|$...pro tento případ převládá ohyb a posouzení se provede dle metody mezní rovnováhy

5.3.7.1 Posouzení průřezu z 1. ZS

Dané síly tohoto zatěžovacího stavu:

$$N_{Ed} = -4079,44 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 30,33 \text{ kNm}$$

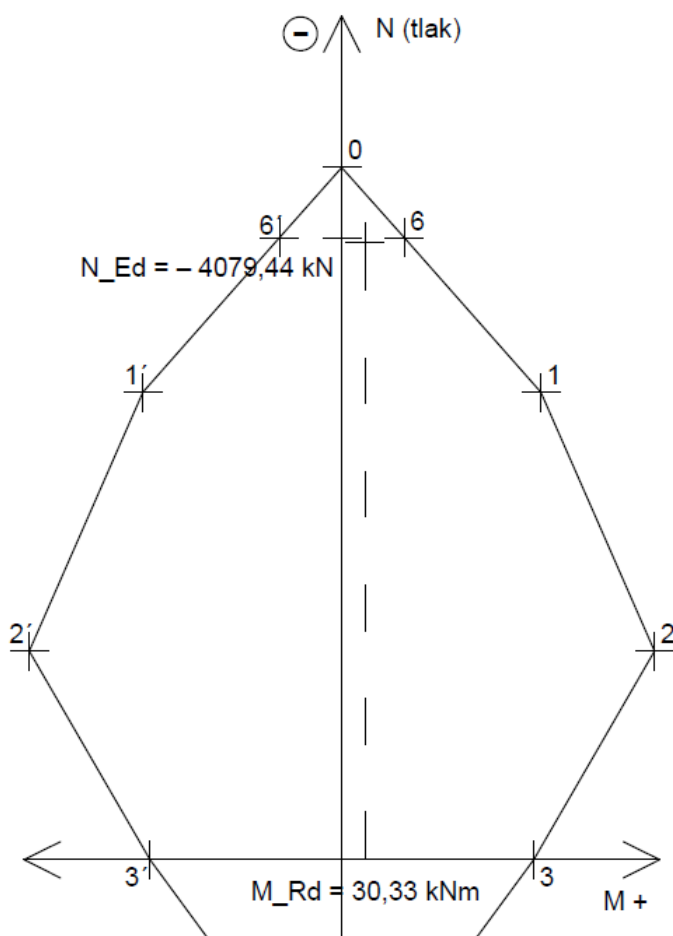
Pro následující posouzení je potřeba použít absolutní hodnoty těchto sil.

$$|N_{Ed}| > |N_{Rdbal}| = 4079,44 \text{ kN} > 1379,79 \text{ kN}$$

\Rightarrow převládá tlak a posouzení se provede dle rovnice přímky 0-1, protože N_{Ed} leží mezi body 0 a 1

Grafické posouzení

Bod 1. ZS se nachází uvnitř diagramu a tím pádem průřez vyhoví.



Obrázek 48: Grafické posouzení sloupu - 1.ZS

Numerické posouzení

Pro posouzení uvažujeme konstantní normálovou sílu N_{Ed} a zvětšující se moment M_{Ed} . Bod se může zvětšovat jen do doby, než pomyslně narazí do úsečky mezi body 0 a 1. Dá se říci, že hledáme souřadnice průsečíku mezi „zvětšujícím“ se momentem a přímkou 0-1.

$$M_{Rd} = M_{Rd,0} + \frac{M_{Rd,1} - M_{Rd,0}}{N_{Rd,0} - N_{Rd,1}} \cdot (N_{Rd,0} - N_{Ed}) = 0 + \frac{262,28 - 0}{4574,45 - 3090,49} \cdot (4574,45 - 4079,44) = 87,49 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 87,49 \text{ kNm} > 30,33 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení limitní štíhlosti

Účinky druhého řádu se mohou zanedbat u štíhlých prvků, které splní následující podmínku.

Skutečná štíhlost prvku

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{3630}{200} = 18,15$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^4}{\pi \cdot r^2}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 400^4}{\pi \cdot 400^2}} = 200 \text{ mm}$$

Limitní štíhlost prvku

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{-59,54}{30,91} = -1,92$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 + 1,92 = 3,62$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{N_{Ed}}{\pi \cdot r^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4079,44 \cdot 10^3}{\pi \cdot 400^2 \cdot 20} = 0,406$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 3,62}{\sqrt{0,406}} = 87,49$$

$$\text{Posouzení: } \lambda \leq \lambda_{lim} = 18,15 > 87,49 \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.3.7.2 Posouzení průřezu z 2. ZS

Posouzení proběhne stejně jako při posouzení prvního zatěžovacího stavu.

Dané síly tohoto zatěžovacího stavu:

$$N_{Ed} = -446,11 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 318,94 \text{ kNm}$$

$$|N_{Ed}| < |N_{Rdbal}| = 446,11 \text{ kN} < 1409,4 \text{ kN}$$

⇒ převládá ohyb a posouzení se provede dle metody mezní rovnováhy

Výpočet výšky tlačené oblasti

V posuzovaném průřezu se kromě sil F_{s1} , F_{s2} , F_c uvažuje také působení normálové síly a předpokládáme, že $N_{Rd} = |N_{Ed}|$.

$$x = \frac{|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{446,11}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,07 \text{ m}$$

Moment únosnosti počítáme pouze se silami F_{s1} , F_{s2} , F_c (bez normálové síly):

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,5 \cdot \lambda \cdot x) + F_{s2} \cdot z_{s2} + F_{s1} \cdot z_{s1} = \\ &= \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,07 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot (0,4 - 0,8 \cdot 0,07) + 2 \cdot 1963 \cdot \\ &\cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,1495 = 332,31 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 332,31 \text{ kNm} > 318,94 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení limitní štíhlosti

Provede se stejně jako v předchozím případě. Účinky druhého řádu se mohou zanedbat u štíhlých prvků, které splní následující podmínku.

Skutečná štíhlost prvku

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{l_0}{i} = \frac{3630}{200} = 18,15 \\ i &= \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^4}{\pi \cdot r^2}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 400^4}{\pi \cdot 400^2}} = 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Limitní štíhlost prvku

$$\begin{aligned} r_m &= \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{318,94}{-318,14} = -1,002 \\ C &= 1,7 - r_m = 1,7 + 1,002 = 2,702 \\ n &= \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{N_{Ed}}{\pi \cdot r^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4079,44 \cdot 10^3}{\pi \cdot 400^2 \cdot 20} = 0,406 \\ \lambda_{lim} &= \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 2,702}{\sqrt{0,406}} = 65,33 \end{aligned}$$

Posouzení: $\lambda \leq \lambda_{lim} = 18,15 > 65,33$

VYHOVUJE

5.3.9 Konstrukční zásady

Omezení množství hlavní tahové výztuže:

$$A_{s,min} < \Sigma A_{s1} < A_{s,max}$$

$$\text{kde } A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 4079,44 \cdot 10^3}{434,78} = 938,27 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 400^2 = 6400 \text{ mm}^2$$

$$\text{Po dosazení: } 938,27 \text{ mm}^2 < 2 \cdot 1963 = 3927 \text{ mm}^2 < 6400 \text{ mm}^2$$

VYHOVUJE

Posouzení osové vzdálenosti výztuže:

$$s_{max} = 400 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max \left\{ \begin{matrix} k_1 \cdot \emptyset \\ d_g + k_2 \\ 20 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 1 \cdot 25 \\ 16 + 5 \\ 20 \end{matrix} \right\} = 25 \text{ mm}$$

$$s_{min} < s < s_{max} = 25 \text{ mm} < 130 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Kotevní délky

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rgd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} \cdot \frac{434,78}{3} = 905,8 \text{ mm}$$

Kotevní délka:

$$l_b = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 905,8 = 905,8 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,3 \cdot l_{b,rgd} \\ 10 \cdot \emptyset \\ 100 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,3 \cdot 905,8 = 271,74 \\ 10 \cdot 25 = 250 \\ 100 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = 271,74 \text{ mm}$$

$$l_b \geq l_{b,min} = 905,8 \text{ mm} \geq 250 \text{ mm} \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

5.3.8 Posouzení sloupu na protlačení

Výpočet je proveden dle ČSN EN 1992-1-1.

Aby nedošlo k propíchnutí desky sloupem, musí být splněna podmínka:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd} \quad (5.50)$$

kde v_{Ed} ... účinek návrhového zatížení v kontrolovaném obvodu

v_{Rd} ... únosnost v protlačení

Ve výpočtu se následně kontrolují podmínky:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,max} \quad (5.51)$$

... podmínka musí být splněna na obvodu sloupu, nebo na obvodu zatěžovací plochy

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c} \quad (5.52)$$

... smykové vyztužení na protlačení není nutné

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,cs} \quad (5.53)$$

... nutné navrhnout výztuž a nalézt další obvod, kde již není smyková výztuž nutná

Celkové rovnoměrné zatížení desky:

$$f_d = g_d + s_{d,1} + w_d^{l+} = 10,288 + 0,816 \cdot 1,5 + 0,71 = 12,22 \text{ kN/m}^2 \quad (5.54)$$

Svislá reakce v podpoře spočítaná ručně:

$$R_{Ed,r} = f_d \cdot L_x \cdot L_y = 12,22 \cdot 8 \cdot 8 = 782,21 \text{ kN} \quad (5.55)$$

Svislá reakce v podpoře spočtená v programu Scia Engineer:

$$R_{Ed,s} = 756,9 \text{ kN}$$

Pro další výpočet bude brána větší hodnota z předchozích dvou hodnot, proto budeme brát hodnotu z ručního výpočtu.

$$\text{Účinná výška desky: } d_{eff} = \frac{d_{x,14} + d_{y,14}}{2} = \frac{218 + 204}{2} = 211 \text{ mm} \quad (5.56)$$

Průměr sloupu: $c = 0,4 \text{ m}$

$$\text{Nultý kontrolovaný obvod: } u_0 = 2\pi \cdot r = 2\pi \cdot 0,4 = 2,51 \text{ m} \quad (5.57)$$

Délka základního kontrolovaného obvodu:

$$u_1 = 2 \cdot \pi \cdot (r + 2 \cdot d_{eff}) = 2 \cdot \pi \cdot (0,4 + 2 \cdot 0,211) = 5,16 \text{ m} \quad (5.58)$$

Redukce svislé síly

Plocha základního kontrolovaného obvodu:

$$A_1 = \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot (r + 2 \cdot d_{eff}) \cdot (2 \cdot d_{eff}) = \pi \cdot 0,4^2 + 2 \cdot \pi \cdot (0,4 + 2 \cdot 0,211) \cdot (2 \cdot 0,211) = 2,68 \text{ m}^2 \quad (5.59)$$

Redukovaná svislá síla:

$$V_{Ed} = R_{Ed} - A_1 \cdot f_d = 782,21 - 2,68 \cdot 12,22 = 749,43 \text{ kN} \quad (5.60)$$

Ověření maximální smykové únosnosti na obvodu sloupu

$$\text{Redukční součinitel: } \nu = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528 \quad (5.61)$$

Součinitel pro střední sloup: $\beta = 1,15$

Maximální návrhové smykové napětí:

$$\nu_{Ed} = \beta \cdot \frac{R_{Ed}}{u_0 \cdot d_{eff}} = 1,15 \cdot \frac{782,21 \cdot 10^3}{2,51 \cdot 0,211} = 1,696 \text{ MPa} \quad (5.62)$$

Maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu:

$$\nu_{Rd,max} = 0,4 \cdot \nu \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = 4,224 \text{ MPa} \quad (5.63)$$

$$\nu_{Rd,max} = 4,224 \text{ MPa} > \nu_{Ed} = 1,696 \text{ MPa} \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Smyková únosnost v základním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{211}} = 1,974 \leq 2,0 \quad (5.64)$$

Stupeň vyztužení:

$$\rho_{lx} = \frac{A_{sx}}{s_1 \cdot d_{x,14}} = \frac{153,9}{150 \cdot 218} = 0,00471 \quad (5.65)$$

$$\rho_{ly} = \frac{A_{sy}}{s_1 \cdot d_{y,14}} = \frac{153,9}{150 \cdot 204} = 0,00503 \quad (5.66)$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = \sqrt{0,00471 \cdot 0,00503} = 0,00487 < 0,02 \quad (5.67)$$

Návrhová únosnost ve smyku při protlačení:

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,911 \cdot (100 \cdot 0,00582 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} = \\ &= 0,579 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (5.68)$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,911^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,532 \text{ MPa} \quad (5.69)$$

$$v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa} > v_{Ed} = 0,532 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Návrhové smykové napětí:

$$v_{Ed,0} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d_{eff}} = 1,15 \cdot \frac{749,43 \cdot 10^{-3}}{5,16 \cdot 0,211} = 0,791 \text{ MPa} \quad (5.70)$$

$$v_{Rd,c} = 0,579 \text{ MPa} > v_{Ed} = 0,791 \text{ MPa} \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

→ Nutno navrhnout smykovou výztuž

Návrh smykové výztuže

Síla na délku kontrolovaného obvodu včetně vlivu momentu:

$$\bar{V}_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} = 1,15 \cdot 749,43 = 0,862 \text{ MN} \quad (5.71)$$

Délka kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž:

$$u_{out} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} = 1,15 \cdot \frac{749,43 \cdot 10^{-3}}{0,579 \cdot 0,241} = 7,05 \text{ m} \quad (5.72)$$

Vzdálenost kontrolovaného obvodu, kde již není nutná smyková výztuž, od líce sloupu:

$$r_{out} = \frac{u_{out} - 4 \cdot c}{2 \cdot \pi} = \frac{7,05 - 4 \cdot 0,4}{2 \cdot \pi} = 1,12 \text{ m} \quad (5.73)$$

Návrh třmínkové smykové výztuže v radiálním směru:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 211 = 158 \text{ mm} \quad (5.74)$$

$$s_r = 150 \text{ mm}$$

Celkový počet prutů na celý 1. kontrolovaný obvod: $n_s = 5$

Počet započitatelných obvodů smykové výztuže:

$$n_0 = \frac{1,5 \cdot d_{eff}}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 211}{150} = 2,11 \quad (5.75)$$

Pevnost smykové výztuže:

$$f_{ywd,ef} < f_{ywd} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} \quad (5.76)$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 211 = 302,75 \text{ MPa} \quad (5.77)$$

$$\mathbf{302,75 \text{ MPa} < 434,78 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Síla přenesená betonem na délku kontrolovaného obvodu:

$$V_{Rd,c} = v_{Rd,c} \cdot d \cdot u_1 = 0,579 \cdot 0,211 \cdot 5,16 = 0,63 \text{ MN} \quad (5.78)$$

Síla, kterou musí přenést smyková výztuž na délku obvodu:

$$V_{Rd,s} = \bar{V}_{Ed} - 0,75 \cdot V_{Rd,c} = 0,862 - 0,75 \cdot 0,63 = 0,39 \text{ MN} \quad (5.79)$$

Minimální nutná plocha smykové výztuže prvního kontrolovaného obvodu:

$$A_{sw,k} = \frac{V_{Rd,s}}{\sin \alpha \cdot f_{ywd,ef}} = \frac{0,39}{\sin 90^\circ \cdot 302,75} = 1288 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (5.80)$$

Minimální započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw,min} = \frac{A_{sw,k}}{n_0} = \frac{1288 \cdot 10^{-6}}{2,11} = 610 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (5.81)$$

Návrh: 12 Ø10

Započitatelná plocha jednoho obvodu výztuže:

$$A_{sw} = n_s \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{10}^2}{4} = 12 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 942 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (5.82)$$

Návrhová únosnost ve smyku při protlačení se smykovou výztuží:

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs} &= 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d_{eff}}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d_{eff}} \cdot \sin \alpha = \\ &= 0,75 \cdot 0,579 + 1,5 \cdot \frac{0,211}{0,150} \cdot 942 \cdot 10^{-6} \cdot 302,75 \cdot \frac{1}{5,16 \cdot 0,211} \cdot \sin 90^\circ = \\ &= 0,987 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (5.83)$$

$$\mathbf{v_{Rd,cs} = 0,987 \text{ MPa} > v_{Ed} = 0,696 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Konstrukční zásady

Maximální vzdálenost jednotlivých řad výztuže:

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d_{eff} = 0,75 \cdot 211 = 158 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost poslední řady výztuže od obvodu nevyžadujícím smykovou výztuž:

$$1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 211 = 316,5 \text{ mm} \quad (5.84)$$

Maximální vzdálenost první řady výztuže od sloupu: $0,5 \cdot d_{eff} = 0,5 \cdot 211 = 105,5 \text{ mm}$

Minimální vzdálenost první řady výztuže od sloupu: $0,3 \cdot d_{eff} = 0,3 \cdot 211 = 63,3 \text{ mm}$

Maximální tangenciální vzdálenost trnů v řadě v prvním kontrolním obvodu:

$$s_{t,max} = 1,5 \cdot d_{eff} = 1,5 \cdot 211 = 316,5 \text{ mm}$$

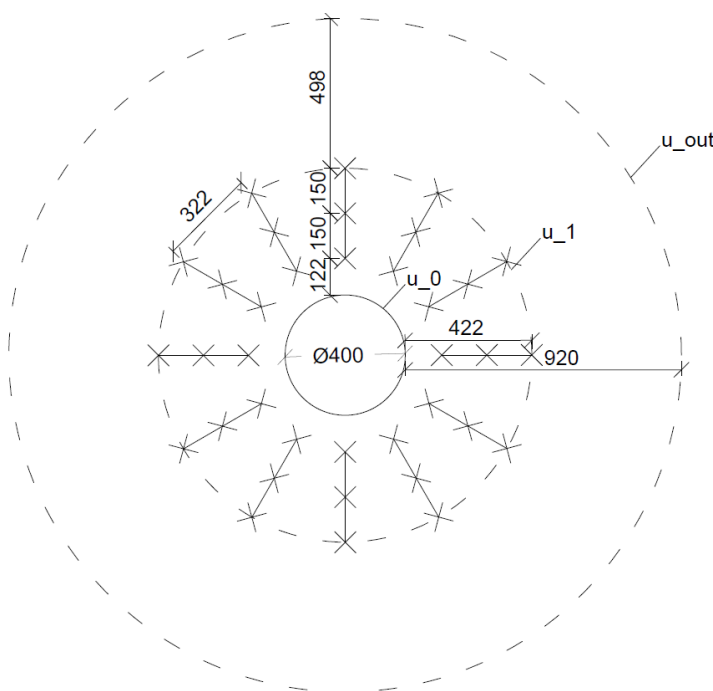
Minimální stupeň vyztužení:

$$\rho_{sw} = 1,5 \cdot \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_t} = 1,5 \cdot \frac{942 \cdot 10^{-6}}{0,15 \cdot 0,322} = 0,029 \quad (5.85)$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$\rho_{sw,min} = 0,00088 < \rho_{sw} = 0,029$$

VYHOVUJE



Obrázek 49: Výztuž na protlačení sloupu

Výztuž proti protlačení je navržena od firmy PEIKKO 12x PSB – 10/235-3/550. Součinitel k_{\max} použitý ve výpočtu, který omezuje maximální únosnost desky na protlačení s výztuží je uveden výrobcem v technickém manuálu.

$$k_{\max} = 1,96$$

6. Návrh a posouzení na MSP

Výpočet je proveden dle ČSN EN 1992-1-1 [4].

6.1 Mezní stav omezení napětí

Nejdříve se provádí omezení napětí u průřezu bez trhlin. V první řadě musíme určit veličinu ideálního průřezu a následně je proveden výpočet napětí betonu v krajních vláknech průřezu.

Poměr modulů pružnosti:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad (6.1)$$

kde E_s ... modul pružnosti betonářské výztuže, $E_s = 200$ GPa

E_{cm} ... modul pružnosti betonu, $E_{cm} = 32$ GPa

Plocha ideálního průřezu:

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \quad (6.2)$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od jeho horního okraje:

$$a_{gi} = \frac{A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)}{A_i} \quad (6.3)$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \left[A_{s1} \cdot (a_{gi} - d)^2 + A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2 \right] \quad (6.4)$$

Napětí betonu v krajních vláknech průřezu namáhaného N a M:

$$\text{Horní vlákna: } \sigma_{c2} = \frac{N_{kd}}{A_i} - \frac{M_{kdi} \cdot a_{gi}}{I_i} \leq f_{ctm} \quad (6.5)$$

$$\text{Dolní vlákna: } \sigma_{c1} = \frac{N_{kd}}{A_i} + \frac{M_{kdi} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} \leq f_{ctm} \quad (6.6)$$

kde A_c ... plocha betonového průřezu

a_c ... vzdálenost těžiště betonového průřezu od horních vláken

α_e ... poměr modulu pružnosti

I_c ... moment setrvačnosti betonového prvku

A_{s1} ... průřezová plocha horní betonářské výztuže

A_{s2} ... průřezová plocha dolní betonářské výztuže

d ... účinná výška průřezu

6.2 Mezní stav trhlin

Šířku trhlin není potřeba posuzovat vzhledem ke stupni vlivu prostředí XC1 a také z důvodu, že stropní konstrukce bude zakrytá podhledem a tudíž nám vznikající trhliny nebudou kazit estetický dojem. Při dodržení ustanovení omezení pro šířku trhliny je doporučená hodnota 0,4 mm.

$$w_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

6.3 Mezní stav přetvoření

Pro mezní stav přetvoření jsou dvě varianty. Přetvoření může být posuzováno omezením poměru rozpětí k výšce prvku, druhá varianta je porovnání vypočteného průhybu s mezní hodnotou. Když dodržíme následující podmínky, můžeme od výpočtu průhybu upustit. Pokud bude splněna podmínka, že je skutečný poměr l/d menší, než limitní poměr l/d , v tom případě nemusíme průhyb dále posuzovat, protože lze předpokládat, že nadměrné průhyby za běžných podmínek nenastanou.

Omezení průhybu:

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \text{ pro } \rho \leq \rho_0 \quad (6.7)$$

kde K ... součinitel zohledňující nosný systém; $K = 1,5$

ρ_0 ... referenční stupeň vyztužení

ρ ... stupeň vyztužení

Referenční stupeň vyztužení

$$\rho_0 = f_{ck}^{0,5} \cdot 10^{-3} \quad (6.8)$$

kde f_{ck} ... charakteristická pevnost betonu v tlaku

Stupeň vyztužení

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad (6.9)$$

kde A_s ... plocha dolní výztuže

d ... účinná výška dolní výztuže

6.4 Posouzení stropní desky

6.4.1 Mezní stav omezení napětí

Ve směru x:

Poměr modulů pružnosti: $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = 6,25$

Plocha ideálního průřezu: $A_i = A_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} + A_{s2}) = 0,25 \cdot 10^6 + 6,25 \cdot (1026 + 1539) = 0,26 \text{ m}^2$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od jeho horního okraje:

$$a_{gi} = \frac{A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)}{A_i} = \frac{0,25 \cdot 0,125 + 6,25 \cdot (1026 \cdot 10^{-6} \cdot 0,218 + 1539 \cdot 10^{-6} \cdot 0,204)}{0,26} = 0,130 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \left[A_{s1} \cdot (a_{gi} - d)^2 + A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2 \right] = 0,0013 + 0,25 \cdot (0,130 - 0,125)^2 + 6,25 \cdot [1026 \cdot 10^{-6} \cdot (0,130 - 0,218)^2 + 1539 \cdot 10^{-6} \cdot (0,130 - 0,204)^2] = 0,00143 \text{ m}^4$$

Napětí betonu v krajních vláknech průřezu namáhaného N a M:

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{kd}}{A_i} + \frac{M_{kdi} \cdot (h - a_{gi})}{I_i} \leq f_{ctm}$$
$$\sigma_{c1} = \frac{0}{0,26} + \frac{30,91 \cdot (0,25 - 0,131)}{0,00143} = 2,56 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Ve směru y

Ve směru y probíhá výpočet stejně jako ve směru x. Jediné co se při tomto výpočtu mění, tak je konečný posudek z důvodu jiného momentu pro směr y.

$$\sigma_{c1} = \frac{0}{0,26} + \frac{32,63 \cdot (0,25 - 0,131)}{0,00143} = 2,71 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.4.2 Mezní stav přetvoření

Ve směru x:

Referenční stupeň vyztužení: $\rho_0 = f_{ck}^{0,5} \cdot 10^{-3} = 30^{0,5} \cdot 10^{-3} = 0,005$

Stupeň vyztužení: $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1539 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 0,218} = 0,001$

Omezení průhybu: $\frac{l}{d} \leq K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \text{ pro } \rho \leq \rho_0$

$$\frac{l}{d} = \frac{8}{0,218} = 36,7$$

$$K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] = 1,5 \left[11 + 1,5\sqrt{30} \cdot \frac{0,005}{0,001} + \right. \\ \left. + 3,230 \cdot 0,0050,001 - 13/2 = 365,13 \right]$$

$$\frac{l}{d} = 36,7 \leq 365,13$$

VYHOVUJE

Ve směru y:

Posouzení ve směru y probíhá stejným způsobem jako ve směru x. Plocha výztuže je pro oba směry stejná.

Stupeň vyztužení: $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1539 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 0,204} = 0,001$

Omezení průhybu:

$$\frac{l}{d} = \frac{8}{0,204} = 39,22$$

$$K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] = 1,5 \left[11 + 1,5\sqrt{30} \cdot \frac{0,005}{0,001} + \right. \\ \left. + 3,230 \cdot 0,0050,001 - 13/2 = 365,13 \right]$$

$$\frac{l}{d} = 39,22 \leq 365,126$$

VYHOVUJE

7. Závěr

Předmětem této diplomové práce byl návrh a posouzení hlavních částí nosné konstrukce z hlediska mezního stavu únosnosti a mezního stavu použitelnosti. Byly provedeny ruční výpočty a výpočty softwarem SCIA Engineer a ty pak byly spolu porovnány. Dále byl proveden návrh výztuže a posouzení stropní desky, sloupu a příslušné posudky dle mezního stavu únosnosti a použitelnosti. Dokumentace byla provedena dle platných norem.

Podkladem pro zpracování této práce byla má bakalářská práce z oboru architektura, kde byl proveden návrh stavby z hlediska pravidel architektury a také byla vyhotovena projektová dokumentace.

8. Seznamy

8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Původní návrh multifunkčního prostoru	15
Obrázek 2: 3D pohled na budovu	15
Obrázek 3: Půdorys schodiště	17
Obrázek 4: Řez schodištěm	17
Obrázek 5: Hodnota zatížení sněhem na zemi	25
Obrázek 6: Schéma půdorysu střechy se střešními svody dešťové vody.	26
Obrázek 7: Označení ploch ve směru x a y pro svislé stěny	31
Obrázek 8: Označení ploch ve směru x a y pro střechu.	32
Obrázek 9: 3D model v programu SCIA Engineer.	34
Obrázek 10: Zatížení od skladeb podlah.	35
Obrázek 11: Poslední nadzemní podlaží se zatížením od příček.	35
Obrázek 12: Užité zatížení v kancelářských prostorách v druhém nadzemním podlaží.	36
Obrázek 13: Pohled na šachovnicové zatížení všech pater	36
Obrázek 14: Užité zatížení na střeše	36
Obrázek 15: Proměnné zatížení od sněhu.	37
Obrázek 16: Zatěžovací panely větru.	37
Obrázek 17: Vykreslení momentů ve směru x.	43
Obrázek 18: Vykreslení momentů ve směru y.	44
Obrázek 19: Deska nad 1. NP - momenty ve směru x.	45
Obrázek 20: Deska nad 1. NP - momenty ve směru y.	45
Obrázek 21: Deska nad 2. NP - momenty ve směru x.	46
Obrázek 22: Deska nad 2. NP - momenty ve směru y.	46
Obrázek 23: Deska nad 3. NP - momenty ve směru x.	46
Obrázek 24: Deska nad 3. NP - momenty ve směru y.	47
Obrázek 25: Deska nad 4. NP - momenty ve směru x.	47
Obrázek 26: Deska nad 4. NP - momenty ve směru y.	47
Obrázek 27: Deska nad 5. NP - momenty ve směru x.	48
Obrázek 28: Deska nad 5. NP - momenty ve směru y.	48
Obrázek 29: Schéma jednotlivých řad a sloupů sloupů.	49
Obrázek 30: Řada A sloupů - normálové síla.	49
Obrázek 31: Řada B sloupů - normálové síly.	49

Obrázek 32: Řada C sloupů - normálové síly.	50
Obrázek 33: Řada D sloupů - normálové síly.	50
Obrázek 34: Řada A sloupů - momenty M_y	51
Obrázek 35: Řada B sloupů - momenty M_y	51
Obrázek 36: Řada C sloupů - momenty M_y	51
Obrázek 37: Řada D sloupů - momenty M_y	52
Obrázek 38: První sloupec sloupů - momenty M_z	52
Obrázek 39: Druhý sloupec sloupů - momenty M_z	52
Obrázek 40: Třetí sloupec sloupů - momenty M_z	53
Obrázek 41: Čtvrtý sloupec sloupů - momenty M_z	53
Obrázek 42: Pátý sloupec sloupů - momenty M_z	53
Obrázek 43: Šestý sloupec sloupů - momenty M_z	54
Obrázek 44: Sedmý sloupec sloupů - momenty M_z	54
Obrázek 45: Osmý sloupec sloupů - momenty M_z	54
Obrázek 46: Devátý sloupec sloupů - momenty M_z	55
Obrázek 47: Interakční diagram.	84
Obrázek 48: Grafické posouzení sloupu - 1.ZS	85
Obrázek 49: Výztuž na protlačení sloupu.	93

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Skladba podlahy v kancelářských prostorách na stropní desce	18
Tabulka 2: Skladba podlahy v komunikačních prostorách a v hygienickém zařízení na stropní desce	18
Tabulka 3: Skladba podlahy na schodišťové podestě.....	19
Tabulka 4: Výpočet hmotnosti schodišťového ramene	19
Tabulka 5: Skladba sádkartonového podhledu	20
Tabulka 6: Skladba střechy	20
Tabulka 7: Skladba obvodové stěny z POROTHERMU.....	21
Tabulka 8: Skladba obvodové stěny ze skla	21
Tabulka 9: Skladba vnitřní stěny z POROTHERMU 30.....	22
Tabulka 10: Skladba vnitřní stěny z POROTHERMU 14.....	22
Tabulka 11: Skladba betonová střešní atiky.	23
Tabulka 12: Užité zatížení pro kancelářské prostory	24
Tabulka 13: Užité zatížení pro komunikační prostory	24
Tabulka 14: Užité zatížení pro schodiště.....	24
Tabulka 15: Užité zatížení pro střechu	24
Tabulka 16: Hodnoty $c_{pe,10}$	30
Tabulka 17: Šířky oblastí pro svislé stěny.	31
Tabulka 18: Hodnoty $c_{pe,10}$ pro střechu.....	31
Tabulka 19: Tlak větru ve směru x na stěnu pro $c_{pi} = +0,2$	32
Tabulka 20: Tlak větru ve směru y na stěnu pro $c_{pi} = +0,2$	32
Tabulka 21: Tlak větru ve směru x na stěnu pro $c_{pi} = -0,3$	33
Tabulka 22: Tlak větru ve směru y na stěnu pro $c_{pi} = -0,3$	33
Tabulka 23: Tlak větru na střechu pro $c_{pi} = +0,2$	33
Tabulka 24: Tlak větru na střechu pro $c_{pi} = -0,3$	33
Tabulka 25: Porovnání výsledků modelu z programu SCIA Engineer s ručním výpočtem.	44

8.3 Seznam použité literatury a zdrojů

Normy

- [1] ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, březen 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-3: Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Část 1-3: Zatížení sněhem. 2rd ed. Praha: Český normalizační institut, červen 2013.
- [3] ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Část 1-4: Zatížení větrem. 2rd ed. Praha: Český normalizační institut, duben 2013.
- [4] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, červenec 2011.
- [5] Mapa zatížení sněhem na zemi. Sněhová mapa [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2019 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://clima-maps.info/snehovamapa/>

Odborná literatura

- [6] HÁJEK, Petr. *Konstrukce pozemních staveb 10: nosné konstrukce 1*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2243-9.
- [7] BILL, Zdeněk. *Konstrukce pozemních staveb 50: konstrukčně statická analýza vícepodlažních a halových objektů*. Vyd. 2. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-010-1754-0.
- [8] BAŽANT, Zdeněk. *Betonové konstrukce I Modul CS 3: Betonové konstrukce plošné - část 1* [online]. Brno, 2005 [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <http://www.unium.cz/materialy/vut/fast/cs3-betonove-konstrukce-plosne-i-m14890-p1.html>. Skripta. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [9] BAŽANT, Zdeněk. *Betonové konstrukce I Modul CS 4: Betonové konstrukce plošné - část 2* [online]. Brno, 2004 [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <http://www.unium.cz/materialy/vut/fast/cs3-betonove-konstrukce-plosne-i-m14890-p1.html>. Skripta. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

Použitý software

AutoCad 2017

Artlantis 2019

Microsoft Office 2013

Microsoft Excel 2013

SCIA Engineer 19.1

8.4 Seznam příloh

01	Půdorys 1.NP	1:200
02	Půdorys 2. a 3. NP	1:200
03	Půdorys 4. a 5. NP	1:200
04	Řez A-A	1:200
05	Výkres ohybové výztuže desky – směr x	1:200
06	Výkres ohybové výztuže desky – směr y	1:200
07	Výkres výztuže sloupu	1:50